



Universidade de Lisboa
Faculdade de Motricidade Humana



Estrutura Cinemática da Corrida de Velocidade em Tapete Rolante
Estudo comparativo entre intensidades de corrida submáximas,
máxima e supramáxima

Dissertação elaborada com vista à obtenção do Grau de Mestre em Treino de
Alto Rendimento

Orientador: Professora Doutora Maria João de Oliveira Valamatos

Júri:

Presidente

Professora Doutora Filipa Oliveira da Silva João

Vogais

Professora Doutora Maria João de Oliveira Valamatos

Professora Doutora Liliana Sofia de Aguiar Pereira da Silva

Ricardo Santos Costa

2018

Agradecimentos

A realização deste trabalho não seria possível sem o apoio de várias pessoas, que colaboraram e me ajudaram a evoluir enquanto estudante e pessoa, no qual eu gostaria de agradecer.

À Professora Doutora Maria João Oliveira Valamatos que me orientou e que demonstrou ao longo da realização deste trabalho, disponibilidade para suprimir as minhas necessidades enquanto estudante, um muito obrigado.

À Professora Doutora Filipa João, pelo imenso apoio demonstrado, em questões mais profundas que surgiram no decorrer deste trabalho.

Agradeço a todos os professores, que me ajudaram e contribuíram no meu desenvolvimento e a adquirir conhecimentos das mais vastas áreas, ao seu profissionalismo, á sua dedicação nos momentos mais complicados, enalteço o vosso contributo, por me tornarem numa pessoa com mais maturidade e capaz de enfrentar as adversidades que surgem pelas fases da vida.

A todos os meus colegas, que tive o prazer de conhecer e partilhar experiências, foram fundamentais neste percurso académico, juntos, passamos por diversas aventuras ao longo deste curso, umas boas outras menos boas, mas é uma característica própria da vida, são recordações marcantes que ficarão cravadas na lembrança da nossa amizade.

À minha namorada, um enorme agradecimento, pela motivação e incentivo no meu percurso académico, sem ela não teria atingido este objetivo.

Aos meus pais, apesar de não puderem contribuir na minha formação, eu sei que o seu amor e carinho estarão presentes na conquista dos meus objetivos, obrigado.

A todos um prestigiado agradecimento da minha pessoa por tudo.

Resumo

A aplicação de meios e métodos direcionados para o desenvolvimento da otimização desportiva, na temática do treino da velocidade, tornou-se cada vez mais habitual. O objetivo do presente estudo foi analisar a estrutura cinemática da corrida de velocidade em passadeira rolante, e determinar vantagens e inconvenientes da utilização de intensidades supramáximas como meio de desenvolvimento da velocidade máxima. A amostra, constituída por uma do sexo feminino (idade: 20 anos, altura: 168 cm e massa corporal: 53kg), com prática regular e sistematizada da especialidade há 7 anos, realizou situações de corrida de velocidade submáxima, máxima e supramáxima na pista de atletismo (tartan) e em tapete rolante (laboratório). Todas as repetições foram filmadas por um sistema integrado de seis câmaras de infravermelhos de alta velocidade, a uma taxa de aquisição de 300Hz. A atleta foi instrumentada com 46 marcas refletoras que permitiram a construção de um modelo biomecânico composto por sete segmentos corporais: pélvis, coxas, pernas e pés. Os resultados obtidos permitiram comprovar que os principais fatores de rendimento são a frequência de passo, a amplitude de passo, o tempo de apoio e o tempo de voo. Permitiram ainda concluir que a prescrição de intensidades supramáximas em tapete rolante apresenta benefícios importantes ao desempenho, manifestados na diminuição do tempo de apoio e da oscilação vertical do centro de gravidade, e no aumento do tempo de voo, da amplitude de passo e da frequência de passo. Beneficia ainda a qualidade do apoio, através da melhoria da distância de impulsão, do aumento da velocidade horizontal do pé no instante de contacto e da diminuição da variação angular do tornozelo durante o apoio.

Palavras-chave: atletismo, corrida de velocidade, velocidade máxima, velocidade supramáxima, corrida assistida, cinemática da corrida, tapete rolante.

Abstract

The application of means and methods directed to the development of the sport optimization, on the theme of speed training, became more habitual. The objective of the present study was to analyze the kinematic structure of the sprint in treadmill, and to determine the advantages and disadvantages of using supramaximal intensities as a means of developing maximum velocity. The sample, consisting of a female (age: 20 years, height: 168 cm and body mass: 53kg), with regular and systematized practice of the specialty 7 years ago, performed situations of maximum and supramaximal speed running on the track and treadmill (laboratory). All repetitions were filmed by an integrated system of six high-speed infrared cameras at an acquisition rate of 300Hz. The athlete was instrumented with 46 reflective marks that allowed the construction of a biomechanical model composed of seven body segments: pelvis, thighs, legs and feet. The obtained results allowed to prove that the main factors of income are the step frequency, step length, contact time, and flight time. They also allowed us to conclude that the prescription of supramaximal intensities in treadmill presents important benefits to the performance, manifested in the decrease of the contact time, center of gravity vertical oscillation, and increased flight time, step length and step frequency. It also benefits the quality of the support, by improving the distance of take-off, the increase of the horizontal velocity of the foot at the touchdown and the decrease of the dorsiflexion degree of the ankle during the support.

Keywords: track and field, speed running, maximal speed, supramaximal speed, assisted running, running kinematics, treadmill.

Índice

Agradecimentos	i
Resumo.....	iii
Abstract	v
Índice	vii
Índice de tabelas	ix
Índice de figuras	xi
Capítulo 1: Introdução.....	1
1.1. Apresentação e definição do problema de estudo	3
1.2. Objetivos de estudo	4
1.3. Pressupostos e limitações do estudo	5
1.4. Motivações para o estudo.....	6
Capítulo 2: Revisão da Literatura	7
2.1. O conceito de velocidade	9
2.2. A corrida de velocidade – os 100 metros.....	9
2.2. Fases da corrida de velocidade	12
2.3. A estrutura técnica do ciclo de passada.....	15
2.4. Parâmetros cinemáticos da corrida de velocidade	16
2.4.1. Velocidade horizontal e vertical do CG	16
2.4.2. A amplitude de passo	17
2.4.3. A frequência de passo	19
2.4.4. Tempo de apoio e tempo de voo (suspensão).....	20
2.4.5. Oscilação vertical do CG	21
2.4.6. Inclinação do tronco.....	22
2.4.7. Ângulos de receção e de impulsão.....	23
2.4.8. Ângulos articulares e inter-segmentares nos instantes de receção e impulsão.....	24
2.4.9. Velocidade horizontal do pé	26
2.5. O treino da velocidade	27
2.5.1. Os princípios metodológicos	29
2.5.2. O treino da velocidade máxima	30
2.5.3. Os meios e métodos de treino utilizados.....	32

2.5.4. Os Sistemas de corrida assistida	32
2.5.5. Efeitos da corrida assistida na performance	39
Capítulo 3: Metodologia.....	43
3.1. Amostra	45
3.2. Desenho experimental	45
3.3. Processamento de dados	49
3.4. Variáveis cinemáticas de estudo	51
Capítulo 4: Apresentação e Discussão de Resultados.....	53
4.1. Intensidades de corrida.....	55
4.2. Velocidade horizontal do CG.....	56
4.3. Frequência e amplitude de passo	57
4.4. Tempo de apoio versus tempo de suspensão.....	60
4.5. Oscilação vertical do CG	64
4.6. Distâncias de recepção e impulsão	65
4.7. Ângulos de recepção e de impulsão.....	66
4.8. Ângulos articulares durante o apoio	68
4.8.1. Deslocamento Angular da Coxofemoral	69
4.8.2. Deslocamento Angular do Joelho	70
4.8.3. Deslocamento Angular do Tornozelo.....	71
4.9. Ângulo mínimo do joelho	73
4.10. Distância entre joelhos no instante de recepção.....	75
4.11. Velocidade horizontal do pé no início do apoio.....	77
Capítulo 5: Conclusões	79
Referências Bibliográficas	83

Índice de tabelas

Tabela 1. Estrutura clássica de uma sessão de treino visando o desenvolvimento da velocidade máxima.....	31
Tabela 2. Métodos de treino para melhorar a velocidade do sprint (adaptado de Hohmann, Lames, and Letzeier (2005)).....	31
Tabela 3. Identificação as marcas refletoras utilizadas para definição do modelo biomecânico de estudo	47
Tabela 4. Intensidades de corrida e tempos efetuados nas repetições de 10 metros lançados, em ambiente natural de treino e competição – Pista de atletismo coberta.	55
Tabela 5. Velocidades e Intensidades de corrida atingidas em tapete rolante, e respetiva relação com as realizadas em pista.	56
Tabela 6. Velocidade horizontal do centro de gravidade durante uma passada, determinada para cada intensidade de corrida (submáximas, máxima e supramáxima) pelo software de controlo do tapete rolante.	56
Tabela 7. Frequência e amplitude de passo, correspondente às intensidades de corrida submáximas, máxima e supramáxima, São apresentados os valores médios \pm SD, de 4 passos (2 ciclos de passada).	57
Tabela 8. Tempo de apoio e tempo de suspensão correspondentes às intensidades de corrida submáximas, máxima e supramáxima. São apresentados os valores médios \pm SD, de 4 passos (2 ciclos de passada).	61
Tabela 9. Oscilação vertical do centro de gravidade, correspondente às intensidades submáximas, máxima e supramáxima. São apresentados os valores médios \pm SD, de 4 passos (2 ciclos de passada).	64
Tabela 10. Distância média de receção e impulsão correspondente às intensidades submáximas, máxima e supramáxima. São apresentados os valores médios \pm SD, de 4 passos (2 ciclos de passada).	65
Tabela 11. Ângulos de receção e impulsão, correspondente às intensidades submáximas, máxima e supramáxima. São apresentados os valores médios \pm SD, de 4 passos (2 ciclos de passada).	67
Tabela 12. Ângulo da Coxofemoral, Joelho e Tornozelo no início e final (take-off) do contacto, correspondente às intensidades de corrida submáxima, máxima e supramáxima. São apresentados os valores médios \pm SD, de 4 passos (2 ciclos de passada).	68
Tabela 13. Ângulo mínimo do Tornozelo (maior flexão) durante a fase de apoio. São apresentados o ângulo de maior flexão e a variação (Δ) angular (componente de flexão) em função do aumento da intensidade de corrida (submáximas, máxima e supramáxima). Reportam-se os valores médios \pm SD de 4 passos (2 ciclos de passada).	72
Tabela 14. Ângulo mínimo do Joelho (maior flexão) durante as fases de apoio e recuperação. São apresentadas as posições angulares de maior flexão do joelho na fase de apoio, e na fase de balanço atrás (recuperação), em função do aumento da intensidade de corrida (submáximas, máxima e supramáxima). Reportam-se os valores médios \pm SD de 4 passos (2 ciclos de passada).	74
Tabela 15. Distância entre joelhos no instante de receção (instante de contacto), correspondente às intensidades de corrida submáximas, máxima e supramáxima. São apresentados os valores médios \pm SD, de 4 passos (2 ciclos de passada).	76

Tabela 16. Velocidade horizontal do pé no instante de contacto, correspondente às fases submáxima, máxima e supramáxima. São apresentados os valores médios \pm SD, de 4 passos (2 ciclos de passada).....	77
--	----

Índice de figuras

Figura 1. Evolução dos recordes mundiais da prova de 100 metros (retirado de (Yamashita, 2013)	12
Figura 2. Fases do ciclo da passada na corrida de velocidade (retirado de Wiemann and Tidow (1995)).....	16
Figura 3. Componente da Amplitude de Passo (retirado de Moir (2015)).....	19
Figura 4. Relação tempo de apoio / tempo de voo ao longo da prova de 100m (retirado de Bergamini et al. (2012)).....	20
Figura 5. Ângulos de Receção e Impulsão (adaptado de Cunha et al. (2002)).....	24
Figura 6. Magnitudes de influência da velocidade. Adaptado de Weineck (2005).....	28
Figura 7. Sistema de reboque (Speed Belt) para o sprint assistido	33
Figura 8. Sprint em terreno declinado	35
Figura 9. Passadeira rolante declinada	37
Figura 10. Perspetiva do protocolo experimental para determinação da velocidade máxima (Nave de atletismo CAR Jamor).	46
Figura 11. Perspetiva do protocolo experimental em ambiente de laboratório (Faculdade de Motricidade Humana).	47
Figura 12. Preparação da atleta com marcas refletoras	48
Figura 13. Representação virtual do espaço tridimensional das recolhas. Volume de captura visualizado no QTM, em ambiente natural (pista de atletismo) (à esquerda) e em contexto de laboratório (tapete rolante) (à direita)	49
Figura 14. Representação virtual do modelo biomecânico criado. Representação gráfica dos marcadores (à esquerda) e visualização da modelação óssea no Visual 3D (à direita).....	50
Figura 15. Frequência e Amplitude de Passo, correspondentes às corridas de intensidade submáxima, máxima e supramáxima.	59
Figura 16. Assimetria entre membros inferiores (direito vs. esquerdo) na Amplitude de Passo, nas diferentes intensidades de corrida. São apresentados os valores médios de 2 passos por membro.	60
Figura 17. Tempo de apoio e Tempo de suspensão, em relação às intensidades submáximas, máxima e supramáxima.....	61
Figura 18. Tempo de apoio, para cada membro inferior (MI), em relação às fases submáximas, máxima e supramáxima.....	64
Figura 19. Distância média de receção e impulsão, correspondente às fases submáxima, máxima e supramáxima.	66
Figura 20. Deslocamento angular da coxofemoral, durante a fase de apoio do membro inferior direito, nas várias intensidades de corrida.....	70
Figura 21. Deslocamento angular do joelho, durante a fase de apoio do membro inferior direito, nas várias intensidades de corrida.	71
Figura 22. Deslocamento angular do tornozelo, durante a fase de apoio do membro inferior direito, nas várias intensidades de corrida.....	73
Figura 23. Distância entre joelho, no instante de receção (Adaptado de R. Mann and Murphy (2015))......	76
Figura 24. Velocidade horizontal do pé no instante de contacto, correspondente às fases submáximas, máxima e supramáxima. São apresentados os valores médios de vários ciclos de passada.	78

Capítulo 1: Introdução

Este capítulo apresenta o tema de estudo, a sua pertinência e os respetivos objetivos.

1.1. Apresentação e definição do problema de estudo

Relativamente aos processos de treino que procuram a melhoria da performance no atletismo, é cada vez mais discutido a nível científico, quais os fatores e mecanismos que melhor potenciam o desenvolvimento da velocidade e tornam o atleta mais rápido. Muitos autores buscam essa resposta no desenvolvimento de inovadores meios e métodos de preparação física (Bosco & Vittori, 1986) , outros apostam na melhoria da qualidade técnica dos atletas (Babic, Coh, & Dizdar, 2011), em processos de recuperação (Lovell, Mason, Delphinus, & McLellan, 2011) ou em apoios de natureza bioquímica e nutricional (Tipton, Jeukendrup, Hespel, & International Association of Athletics, 2007). Existem, portanto, vários componentes que concorrem para a melhoria da performance e que cobrem uma alargada e complexa gama de atividades. A combinação destas diferentes abordagens, associada a uma planificação mais adequada, terá sido o facto decisivo para a evolução das marcas dos 100 metros (prova rainha da velocidade) nas últimas décadas (Derse, Hansen, O'Rourke, & Stolley, 1995-2012). No entanto, é ainda escassa a informação sobre a importância relativa de cada um destes fatores ou sobre a melhor estratégia de os conjugar entre si e estruturar intensidades. No que respeita, particularmente, ao treino de velocidade com intensidades supramáximas, que se caracteriza por utilizar sistemas de assistência (corrida assistida) que promovem velocidades de deslocamento superiores à máxima individual, alguns estudos procuraram investigar a eficácia dos sistemas de reboque – roldanas (Bosco & Vittori, 1986), bandas elásticas (Bartolini et al., 2011) ou terreno declinado (Ebben, Davies, and Clewien (2008), na melhoria da performance e na cinemática da corrida. No entanto, os resultados têm sido inconsistentes, em parte devido a diferentes metodologias de quantificação da magnitude das forças de tração ou do nível de intensidade imposto pelo sistema de assistência. Atualmente, são referenciados dois métodos usuais de definição da carga de assistência: (1) baseado numa redução do tempo absoluto de *sprint* (Sandwick, 1967) , ou (2)

num aumento relativo da velocidade máxima de *sprint* de 106-110% da velocidade máxima sem assistência (Clark et al., 2009). O primeiro, originalmente desenvolvido por Sandwick (1967), refere que um atleta deve ser rebocado (assistido) a uma velocidade que permita a redução de $\approx 0,5$ segundos do seu melhor tempo em 50 jardas (45,72m). O segundo sugere que os atletas sejam assistidos entre 106-110% da sua velocidade máxima (Clark et al., 2009) e que a distância de *sprint* se situe entre os 30 e os 40 metros (J. M. Cissik, 2005). O que parece ser quase consensual entre os vários autores, é que a cinemática da corrida pode sofrer consequências negativas quando alguns limites de assistência forem ultrapassados (Clark et al., 2009), comprometendo os potenciais benefícios deste tipo de intervenção (Bartolini et al., 2011; Cetin, Hindistan, & Ozkaya, 2017; Rumpf, Lockie, Cronin, & Jalilvand, 2016). No entanto, qualquer uma destas premissas refere-se a condições de treino em ambiente natural (pista de atletismo ou campo de treino), não existindo nenhuma orientação metodológica para o treino com velocidades supramáximas em tapete rolante. Tanto quanto é do nosso conhecimento, até ao momento nenhum estudo analisou os efeitos ou as alterações cinemáticas da corrida supramáxima (*overspeed training*) em tapete rolante, apesar deste meio de treino ter vindo a ser cada vez mais utilizado por atletas e treinadores. Assim, no presente estudo procurámos analisar a estrutura cinemática da corrida de velocidade em passadeira rolante, e verificar se intensidades de corrida supramáximas em tapete rolante potenciam ou prejudicam os principais fatores de desempenho identificados na literatura.

1.2. Objetivos de estudo

O presente estudo pretendeu, então, analisar a estrutura cinemática da corrida de velocidade em passadeira rolante, e determinar vantagens e inconvenientes da utilização de intensidades supramáximas como meio de desenvolvimento da velocidade máxima. Dado que o *sprint* supramáximo influencia a cinemática da corrida (Clark et al., 2009), propusemo-nos a determinar a intensidade ótima para a corrida supramáxima em tapete rolante, comprovando

o seu benefício na otimização do desempenho desportivo. O desenvolvimento de atividades ou exercícios que melhorem a técnica e a performance do *sprint*, baseia-se na análise e compreensão das características biomecânicas e dos fatores que condicionam eventuais adaptações.

A um nível mais específico, o presente estudo procurou atingir os seguintes objetivos:

1. Caracterizar a estrutura cinemática da corrida submáxima, máxima e supramáxima em tapete rolante;
2. Caracterizar e quantificar as principais alterações cinemáticas decorrentes do aumento da intensidade de corrida supramáxima em tapete rolante;
3. Identificar fatores de desempenho que possam ser potenciados através da corrida supramáxima em tapete rolante;
4. Identificar os principais fatores limitativos da corrida supramáxima em tapete rolante;
5. Aumentar o conhecimento sobre um meio de treino cada vez mais procurado por atletas e treinadores, e fornecer uma base de comparação para futuras investigações sobre o tema;
6. Testar a metodologia de investigação específica (*setup* experimental) ao tema em análise.

1.3. Pressupostos e limitações do estudo

Na realização deste estudo foram considerados os seguintes pressupostos:

- a) O momento da época escolhido para a recolha de dados pressupõe um considerável estado de forma desportiva, pelo que as intensidades desenvolvidas terão sido as habitualmente praticadas;

- b) A seleção da amostra considerou atletas especialistas da velocidade, o que pressupõe o domínio absoluto da técnica de corrida;
- c) Os atletas envolvidos no estudo tinham experiência prévia na realização de tarefas de velocidade supramáxima, particularmente em tapete rolante;
- d) Foi também um pressuposto que os atletas realizaram as repetições máximas, efetivamente à intensidade máxima, e que, por serem praticantes federados e estarem envolvidos em períodos específicos de preparação, cumpriram o protocolo de avaliação em condições isentas de fadiga;

No entanto, a realização desta investigação acarreta algumas condicionantes relevantes que importa referir e considerar na interpretação dos resultados:

- a) O estudo integra apenas uma atleta, pelo que será antes um estudo caso do que propriamente uma investigação alargada à população velocista;
- b) A atleta participante é do escalão de sub-23, ainda em percurso de desenvolvimento desportivo, pelo que não representa um modelo de alto rendimento desportivo (12,09s aos 100m e 25,17s aos 200m).

1.4. Motivações para o estudo

O presente estudo surgiu na sequência do nosso gosto pela modalidade de atletismo, nomeadamente pela especialidade de velocidade pura, da qual fomos praticantes durante alguns anos. Também a paixão pelo treino e por outras modalidades que suportam a sua performance na velocidade e na agilidade (p.e., futebol americano), influenciaram-nos a procurar maior e melhor conhecimento sobre o tema e a refletir sobre as soluções metodológicas mais eficazes na melhoria da velocidade máxima.

Capítulo 2: Revisão da Literatura

A revisão da literatura contextualiza a investigação e apresenta uma visão geral sobre a temática de estudo.

2.1. O conceito de velocidade

Na generalidade das modalidades desportivas e particularmente no atletismo, o rendimento desportivo é, em primeiro lugar, condicionado pela velocidade com que os praticantes executam as suas tarefas ou gestos motores. Segundo Weineck (2005), a velocidade não se limita apenas à capacidade de correr rapidamente, mas também desempenha um papel determinante noutros movimentos cíclicos e acíclicos. Para Schnabel & Thiess (1993), citados por Weineck (2005), a velocidade é uma capacidade condicional que se reflete na realização de ações motoras de intensidade máxima e de duração muito breve. No entanto, Lehnertz, Carl, and Martin (2016) têm dúvidas em classificar a velocidade como uma capacidade condicional, referindo que apenas se baseia parcialmente em mecanismos energéticos, dependendo também em grande medida dos processos reguladores do sistema nervoso central. Deste modo, a complexidade da velocidade, nas suas vertentes condicional e nervosa (coordenação), foi pioneiramente demonstrada na definição de Frey, em 1977, citado por Weineck (2005): “Velocidade é a capacidade para realizar ações motoras num reduzido espaço de tempo, dependendo tanto da funcionalidade do sistema neuromuscular e como da capacidade muscular de desenvolver força”. No entanto, segundo Weineck (2005), a definição mais ampla de velocidade é-nos proporcionada por Grosser, em 1991, pois incorpora além dos aspetos físicos e coordenativos, a componente psicológica: “...a velocidade é a capacidade para atingir, baseada nos processos cognitivos, na voluntariedade máxima e na funcionalidade do sistema neuromuscular, as máximas velocidades de reação e de movimento possíveis, em determinadas condições de prática”.

2.2. A corrida de velocidade – os 100 metros

A corrida de velocidade pura, os 100 metros planos, será, porventura, a prova mais referenciada na literatura relacionada à história do desporto, uma vez que representa a máxima

expressão de velocidade de deslocamento que o homem pode exprimir (Duncanson, 2011; Quercetani & Pallicca, 2007). É a distância olímpica mais curta da modalidade de atletismo e é, também, uma das mais antigas e populares provas da história do desporto. Disputada na clássica pista de atletismo, ela ocupa toda a reta da meta e dura cerca de 10 segundos nos homens e 11 segundos nas senhoras. Quando é disputada nos Jogos Olímpicos, os respetivos vencedores são tradicionalmente designados como o homem e a mulher mais rápidos do mundo. Os registos mais antigos da história do desporto indicam que a corrida de velocidade está incluída nos Jogos Olímpicos desde a Grécia Antiga. Nos Jogos da Antiguidade, a prova de velocidade assumia a designação de "stadion", uma vez que consistia numa volta ao estádio de Olímpia, cuja pista assumia a distância de 192 metros. Nos tempos modernos, os ingleses, os primeiros a modernizarem o atletismo, adotaram uma distância padrão de 110 jardas (91,44 m) de acordo com seu sistema de medidas, mas a distância métrica de 100 metros tem sido disputada desde os primeiros Jogos Olímpicos da Era Moderna, em 1896. Nessa prova, o americano Thomas Burke ganhou a medalha de ouro, correndo a distância em 12 segundos, 2,19s mais lento do que Usain Bolt no Rio de Janeiro-2016. Quatro anos depois do ouro de Burke, outro americano, Frank Jarvis, subiu ao lugar mais alto do pódio com o tempo de 11 segundos, a maior queda de sempre na evolução histórica das marcas. Nas edições seguintes, os tempos não evoluíram muito, de tal forma que 28 anos depois, em Amsterdam-1928, o canadiano Percy Williams também precisou de 11s para ser campeão.

Um dos grandes desafios ao longo dos tempos, foi o de baixar a barreira dos dez segundos. Esta barreira só foi quebrada em 1968, num evento que ficou conhecido como a Noite da Velocidade. Três velocistas americanos, Jim Hines, Ronnie Ray Smith e Charles Greene, alcançaram o tempo de 9,9s na mesma noite, em Sacramento, na Califórnia. Poucos meses depois, o mesmo Jim Hines estabeleceu o primeiro recorde após a introdução dos centésimos na cronometragem da prova, com a marca de 9,95s, nos Jogos Olímpicos de 1968, na Cidade do

México, onde os respectivos 2250 metros de altitude provocaram uma chuva de recordes em competições de curta distância.

A partir da década de 1990, com o profissionalismo dos atletas e o avanço tecnológico dos equipamentos, verificou-se uma acentuada massificação das marcas abaixo dos 10 segundos. Isso ficou bem vincado nas marcas registadas por todos os campeões olímpicos desde os Jogos de Barcelona-92. Mas foi nas últimas três edições dos Jogos Olímpicos que um jamaicano surgiu para cravar o seu nome na história e impor um novo patamar na especialidade. Em Pequim-2008, Usain Bolt foi campeão com o tempo de 9,69s, em Londres-2012 conseguiu o bicampeonato com um tempo ainda melhor: 9,63s, e no Rio de Janeiro-2016, atingiu o feito inédito do tricampeonato, com 9,81s. Usain Bolt, único tricampeão olímpico na História dos 100m, é o atual recordista mundial, com a marca de 9,58s (estabelecida no Campeonato do Mundo de Berlim, em 2009). A evolução do recorde mundial nesta prova pode ser observada na figura 1. Uma boa indicação da superioridade do atual recordista do mundo é verificar que os três últimos melhores tempos do mundo lhe pertencem - 9,72, 9,69 e 9,58s. A sua superioridade também fica evidente no decréscimo acentuado da fase final da curva do recorde do mundo (figura 1). Deve salientar-se ainda que na prova em que conseguiu o tempo de 9,69s nos Jogos Olímpicos de Pequim, Bolt começou a olhar para trás e a comemorar a sua vitória alguns metros antes da meta, diminuindo consideravelmente a sua velocidade de corrida. Um grupo de investigadores noruegueses analisou essa corrida e estimou a marca que Bolt teria conseguido, caso não tivesse reduzido a velocidade nos últimos 2s. No melhor cenário projetado pelos autores, Bolt teria conseguido uma marca entre os 9,51s e os 9,59s (Eriksen, Kristiansen, Lagrangen, & Wehus, 2009).

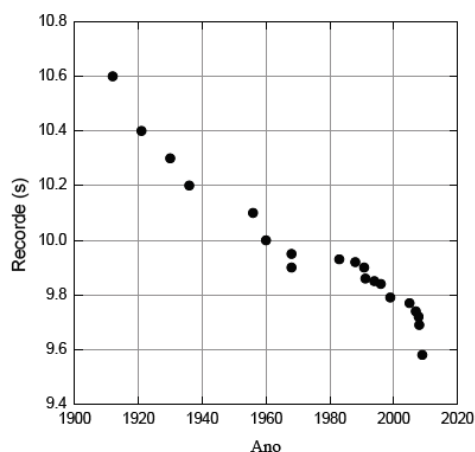


Figura 1. Evolução dos recordes mundiais da prova de 100 metros (retirado de (Yamashita, 2013))

A prova dos 100 metros femininos só começou a ser disputada em Amsterdam-28 e a americana Elizabeth Robinson foi a primeira campeã com o tempo de 12,2 segundos. A marca de 11 segundos só foi quebrada em Los Angeles-84, quando outra americana, Evelyn Ashford, registou 10,97s. Quatro anos depois, em Seul-1988, o mundo conheceu o fenómeno Florence Griffith-Joyner, que venceu a prova com o registo de 10,54s (marca antirregulamentar, com vento superior a $2,0 \text{ m.s}^{-1}$), depois de ter conseguido o recorde olímpico nos quartos-de-final com 10,62s e o recorde do mundo, dois meses antes, em Indianápolis, com 10,49s. Até hoje, nenhuma outra mulher conseguiu superar as suas marcas. Nem mesmo as jamaicanas Elaine Thompson e Shelly-Ann Fraser-Pryce que, assim como seu compatriota Usain Bolt, têm dominado os 100 metros nas últimas três edições dos Jogos Olímpicos, com as marcas de 10,71s (Elaine Thompson, Rio de Janeiro-2016) e 10,75s (Shelly-Ann Fraser-Pryce, Londres-2012). Está para durar um recorde que perdura há quase 30 anos.

2.2. Fases da corrida de velocidade

A corrida de velocidade pode ser constituída pelas seguintes fases fundamentais: a partida, a aceleração, velocidade máxima e velocidade resistência (desaceleração) (Helmick,

2003). O desempenho numa prova competitiva de velocidade não está, portanto, apenas dependente da velocidade máxima. É necessário envolver outras variáveis, como a velocidade de reação (tempo entre o tiro de partida e o início da reação muscular), capacidade de aceleração, e aptidão para manter a velocidade máxima durante o maior espaço de tempo possível (Delecluse, 1995).

Fase da Partida: Refere-se ao período em que o atleta se encontra em contacto com os blocos de partida (Mero, Komi, & Gregor, 1992). Tem uma duração aproximada de 0,500s, cerca de 5% do tempo total da corrida. Inclui o tempo de reação (cerca de 0,150s) e a saída dos blocos (cerca de 0,350s) (Mero, 1988). O tempo de reação é o intervalo de tempo (milissegundos) entre o estímulo de partida (tiro da pistola) e o momento inicial em que o atleta está capacitado para exercer uma certa pressão nos blocos de partida (Pilianidis, Kasabalis, Mantzouranis, & Mavvidis, 2012).

Fase da aceleração: É definida pela distância que o atleta percorre até alcançar a velocidade máxima e caracteriza-se pela variação da velocidade de deslocamento (Lentz & Dawes, 2015). Dependendo do nível do atleta, esta fase pode ter diferentes durações, sendo mais reduzida para atletas menos treinados e maior para atletas de elite, (aproximadamente 50-60 metros nos homens e 40-50 metros nas senhoras (Delecluse, 1995). De acordo com Delecluse (1995) e Seagrave (1996), a fase de aceleração pode ser dividida em duas subfases: (1) A fase inicial, onde a aceleração é muito acentuada, e onde a força explosiva assume importância primordial, e (2) a fase de transição, caracterizada por uma aceleração menos acentuada e que conduz à fase de velocidade máxima. Na fase inicial, os atletas saem dos blocos com um ângulo tronco-solo relativamente baixo (40° a 45°) e devem assumir uma posição que lhes permita acelerar o corpo no menor espaço de tempo possível. Durante os primeiros dois passos o centro de gravidade está bem à frente do pé de contacto, permitindo ao atleta gerar força para superar a inércia e continuar a acelerar (Lentz & Dawes, 2015). É nesta fase que os parâmetros cinemáticos da

corrida se alteram mais significativamente. Devido a essas alterações, a velocidade do centro de massa aumenta, aumentando também a amplitude e a frequência de passo. Devido às alterações das condições biomecânicas o índice da atividade (tempo de contacto/tempo de voo) também se altera durante esta fase: o tempo total do contacto com o solo diminui e a fase de voo aumenta (Luhtanen & Komi, 1980). Quanto mais alta a frequência mais pequena é a amplitude da passada (o oposto também é válido), sendo a eficiência da aceleração definida pelo ótimo rácio entre a amplitude e frequência de passo.

Fase de velocidade máxima: É constituída pela distância percorrida à velocidade máxima e tem uma extensão que varia entre 10 a 30 metros (a distância e a duração desta fase está também dependente do nível competitivo do atleta). Na fase de velocidade máxima, os atletas do sexo masculino atingem velocidades na ordem dos 12 m.s^{-1} . Para as senhoras, esta velocidade ronda os 11 m.s^{-1} . O tempo de apoio do pé no solo pode chegar aos 80 milissegundos (Dintiman & Ward, 2003). A cinemática e a cinética do *sprint* mantêm-se bastante consistentes durante esta fase (Mero et al., 1992). A velocidades altas há um pequeno incremento na amplitude da passada e um incremento considerável na frequência da passada. Isto significa que a velocidades altas os atletas aumentam a velocidade de deslocamento através do aumento da frequência da passada numa dimensão relativamente maior do que a amplitude da passada (Mero et al., 1992).

Fase de desaceleração: Esta fase é constituída pela distância percorrida em perda de velocidade (aceleração negativa, na qual o atleta não consegue manter a velocidade máxima atingida na fase anterior. Nesta fase, a fadiga, sobretudo do sistema nervoso central, origina uma diminuição da frequência de passo. Em contrapartida o atleta tenta compensar esta diminuição com um aumento da amplitude de passo (Mero et al., 1992). Ambos os tempos de contacto e de voo aumentam no final da corrida e aumenta também a distância de travagem. É ainda

observada a descida vertical do centro de gravidade e uma perda acentuada de velocidade durante a travagem (Mero et al., 1992).

2.3. A estrutura técnica do ciclo de passada

Ao contrário da marcha onde se verifica uma fase de duplo apoio, a corrida caracteriza-se pela alternância entre uma fase de apoio unilateral e outra de suspensão (ou voo). Com o objetivo de descrever, identificar e corrigir eventuais os erros técnicos, os investigadores têm vindo a repartir o movimento cíclico da corrida, utilizando o passo como elemento fundamental de análise. Segundo (Dugan & Bhat, 2005; R. Mann, 2011), o passo é caracterizado e definido como a distância entre o apoio de um pé, até a colocação do pé contrário ao solo. Já a passada é entendida como o ciclo entre o apoio de um pé até seu contacto subsequente com o solo. A literatura tem estruturado o ciclo da passada em fase de apoio e fase de suspensão (Figura 2). Neste ciclo, ambos os membros inferiores desempenham alternadamente funções de apoio e balanço. A fase de apoio representa o instante de contacto com o solo, podendo ser subdividida em fase de apoio negativo (fase de travagem) e fase de apoio positivo (impulsão). A fase de apoio negativo tem o seu início no instante em que o pé contacta o solo e o Centro de Gravidade (CG) continua a sua trajetória descendente. O seu final ocorre no instante em que o deslocamento vertical do CG atinge o seu ponto mais baixo ou em que este passa pela vertical do apoio. A fase de apoio positivo ocorre a partir do instante final da fase de travagem e termina no instante final de apoio. A impulsão é a única fase de toda a estrutura da passada que provoca uma aceleração do CG.

A fase de suspensão, que representa o período de tempo em que o atleta não tem qualquer contacto com o solo, inclui o balanço posterior do membro que terminou o apoio (fase de recuperação) e o balanço anterior do membro que vai realizar o apoio seguinte (balanço à frente).

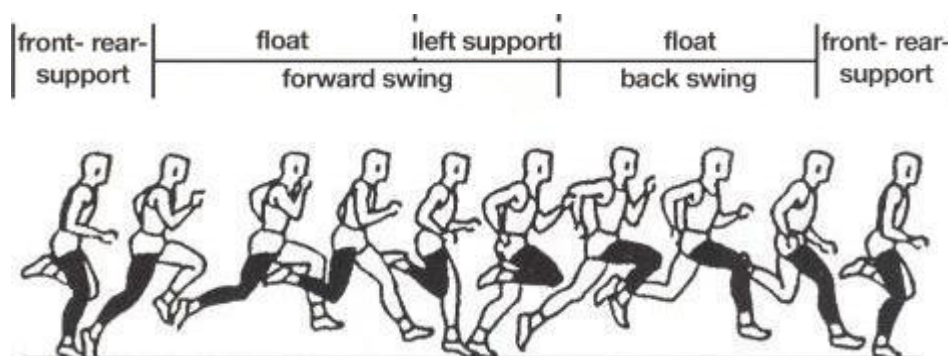


Figura 2. Fases do ciclo da passada na corrida de velocidade (retirado de Wiemann and Tidow (1995))

2.4. Parâmetros cinemáticos da corrida de velocidade

2.4.1. Velocidade horizontal e vertical do CG

Na corrida de velocidade, o objetivo final é percorrer a distância no mínimo tempo possível, recorrendo ao gesto motor fundamental de correr. A velocidade de corrida depende da coordenação de duas variáveis elementares da locomoção: a amplitude e a frequência de passo, sendo fornecida pelo produto dessas duas variáveis: *Velocidade de Corrida* = *Amplitude de Passo* \times *Frequência de Passo*.

Isto significa que as alterações da velocidade ao longo da prova dependem apenas do comportamento dos passos, da sua amplitude e duração. A velocidade horizontal do CG depende então da relação entre a amplitude e a frequência de passo, podendo assim aumentar de duas formas distintas (isoladas ou em simultâneo): através do aumento da amplitude de passo ou devido à diminuição dos tempos de apoio e/ou de suspensão.

Existem diversas referências na literatura quanto à velocidade horizontal máxima atingida pelos atletas em situação de competição. Moravec et al. (1988) refere velocidades máximas de $11,71 \pm 0,08 \text{ m.s}^{-1}$ para os três primeiros classificados e de $11,51 \pm 0,08 \text{ m.s}^{-1}$ para os últimos quatro finalistas do Campeonato do Mundo de Roma (1987). Também Bruggeman and Glad (1990), referem para os três primeiros e quatro últimos finalistas dos Jogos Olímpicos de

Seul (1988), velocidades horizontais máximas de $11,99 \pm 0,08 \text{ m.s}^{-1}$ e $11,66 \pm 0,13 \text{ m.s}^{-1}$, respetivamente.

As velocidades horizontal e vertical do CG parecem estar relacionadas, tanto em magnitude como em sentido. No estudo de R. Mann (1985), velocistas de elevado nível competitivo atingiram velocidades verticais do CG na ordem dos $0,67 \text{ m.s}^{-1}$ enquanto que no estudo de R. V. Mann and Herman (1985), foram verificadas velocidades de $0,57/0,83$; $0,57/0,73$ e $0,76/0,72 \text{ m.s}^{-1}$ respetivamente para situações sem e com fadiga, de três velocistas de elite em situação de competição. De uma forma consensual, todos os autores referem que uma velocidade vertical excessiva é indesejada no sprint, por produzir deslocamentos verticais do CG que levam a gastos desnecessários de tempo e energia.

2.4.2. A amplitude de passo

O comprimento (ou amplitude) do passo, que corresponde à soma do deslocamento horizontal do CG na fase de apoio e na fase de suspensão, depende da altura do atleta e/ou do comprimento do membro inferior, e da força desenvolvida pelos músculos extensores da coxofemoral (glúteo máximo), do joelho (quadricípites) e do tornozelo (tricípites sural) durante a fase de apoio (Coh & Tomazin, 2006). Segundo Nummela, Keranen, and Mikkelsen (2007), o aumento da amplitude de passo está relacionado com o incremento da força propulsiva horizontal ($r=0,73$) e da força vertical ($r=0,58$). Estes resultados comprovam que o mecanismo utilizado pelos atletas para alcançarem maior amplitude de passo depende da respetiva capacidade para aplicar força durante o apoio. Desta forma, a qualidade do apoio, e sobretudo da sua subfase de impulsão, parece corresponder à fase mais determinante para o aumento da velocidade de corrida (Mero & Komi, 1987). Cada contacto com o solo deve, por isso, ser o mais

breve possível, desenvolver o melhor impulso e o rácio ótimo entre as fases de travagem e de impulsão.

No seu livro de texto sobre a biomecânica das técnicas desportiva, James Hay (1993) refere que a amplitude de passo depende de três fatores (Figura 3):

(a) Distância de impulsão (*take-off distance*), que representa a distância horizontal entre a parte anterior do apoio no instante de saída (*take-off*) e a projeção vertical do CG. Esta distância é maior na fase de aceleração devido à inclinação do corpo à frente e menor na fase de velocidade máxima, onde a inclinação do corpo é quase nula;

(b) Distância do voo (*flight distance*), que representa a distância horizontal percorrida pelo CG durante a fase de suspensão. As distâncias de voo são menores na aceleração e aumentam durante a fase de velocidade máxima (A.E. Atwater, 1982).

(c) Distância de receção (*touchdown distance*), que representa a distância horizontal entre a parte anterior do pé no instante de contacto com o solo e a projeção vertical do CG. A literatura refere que esta distância diminui com o aumento da velocidade de corrida, sendo, portanto, mínima na fase de velocidade máxima. Trata-se de um importante indicador técnico, pois permite minimizar a fase de travagem do apoio (Mero et al., 1992). Segundo R. Mann (1985) a distância de receção varia com o nível competitivo dos velocistas, tendo encontrado valores de 0,180, 0,220 e 0,270 metros respetivamente para velocistas de nível elevado, médio e razoável. Apesar disso, quando R. V. Mann and Herman (1985) analisaram os três primeiros finalistas dos 200 metros nos Jogos Olímpicos de 1984, encontraram oscilações entre os 0,217 e os 0,327 metros, não correspondendo a menor distância a um melhor resultado final, contrariando a indicação de que os velocistas mais qualificados minimizam a distância de receção (Kunz & Kaufmann, 1981). No estudo de Kunz and Kaufmann (1981), os atletas mais

rápidos apresentaram uma distância de receção inferior, sendo, por isso, recomendado que os velocistas iniciem o contacto sob a projeção vertical do CG.

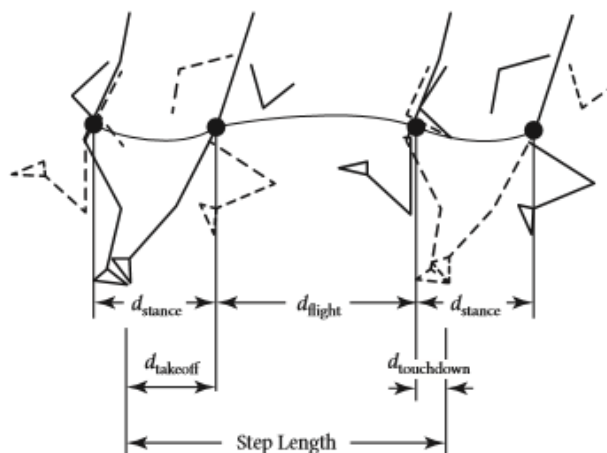


Figura 3. Componente da Amplitude de Passo (retirado de Moir (2015))

2.4.3. A frequência de passo

A frequência de passo corresponde ao número de passos por unidade de tempo ($\text{Frequência de Passo} = \frac{1}{t}$, onde t é a duração do passo em segundos, determinado pela soma dos tempos de apoio e de suspensão). São múltiplas as variáveis que influenciam a frequência de passo, porém, a capacidade do sistema nervoso central, a frequência de disparo das unidades motoras, o tipo de fibras musculares e o comprimento dos membros inferiores, parecem ser os parâmetros mais importantes nesta componente cinemática (Mero & Komi, 1986). A frequência de passo é, portanto, fortemente determinada por fatores genéticos (Mero et al., 1992). Quanto maior quantidade de fibras rápidas, maior poderá ser a frequência de passo. Ao contrário, quanto menor o comprimento dos membros inferiores, maior probabilidade de atingir elevada frequência de passo. É por isso que velocistas mais baixos possuem, geralmente, melhor possibilidade de vitória em distâncias curtas (p.e., 60 metros). Como referência podemos considerar que atletas que alcançam valores acima de 4,6 passos por segundo, apresentam elevadas frequência de passo (Garcia Manso, 1998), enquanto atletas mais lentos podem atingir frequências de passo na ordem dos 4,0 a 4,2 passos por segundo.

Frishberg (1983) encontrou para velocidades horizontais médias de $9,21 \pm 0,11 \text{ m.s}^{-1}$, frequências de passo $3,93 \pm 0,05 \text{ Hz}$ (sem controlo da estatura ou do comprimento dos membros inferiores dos sujeitos).

2.4.4. Tempo de apoio e tempo de voo (suspensão)

O tempo de apoio, designado na literatura internacional como *stance time*, corresponde ao período de tempo em que um dos membros inferiores se encontra em contacto com o solo. Em atletas de alto rendimento, o tempo de apoio estabelece uma relação inversamente proporcional com a velocidade horizontal do CG (Novacheck, 1998).

O tempo de voo ou tempo de suspensão, designado na literatura internacional como *flight time*, representa o período de tempo durante o qual não existe qualquer contacto com o solo. Em atletas de elite e durante a fase de velocidade máxima, a sua duração é frequentemente mais elevada do que a do tempo de apoio (Bergamini et al., 2012). A Figura 4 mostra como se comporta a relação tempo de apoio/tempo de voo durante a corrida de 100 metros. Normalmente, o tempo de voo apresenta uma relação diretamente proporcional com a velocidade horizontal do CG (Brughelli, Cronin, & Chaouachi, 2011; J. Cissik, 2004).

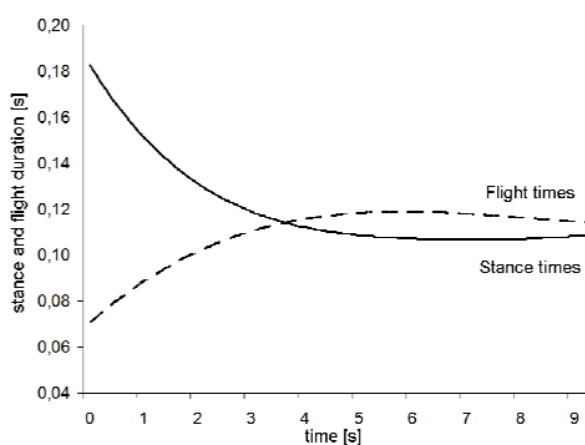


Figura 4. Relação tempo de apoio / tempo de voo ao longo da prova de 100m (retirado de Bergamini et al. (2012))

Nos velocistas de elite, a fase da velocidade máxima é percorrida com velocidades horizontais do CG superiores a $11,50 \text{ m.s}^{-1}$, com tempos de apoio entre os 80 e 110ms. A fase de voo atinge durações de 120 a 140ms (Bosco & Vittori, 1986; Mero et al., 1992; Wood, 1987).

São vários os estudos (Kunz & Kaufmann, 1981; R. Mann, 1986; Mero & Komi, 1986), que compararam grupos de velocistas de diferentes níveis competitivos, sendo claro que a diminuição do tempo de apoio é o fator determinante da frequência de passo e da velocidade horizontal do CG, distinguindo velocistas de diferentes níveis competitivos. Com este propósito, Plamondon and Roy (1984) encontraram correlações elevadas entre o tempo de apoio e a frequência de passo ($r=-0,90$; $p\leq 0,01$) e entre a amplitude de passo e o tempo de voo ($r=0,96$; $p\leq 0,01$).

2.4.5. Oscilação vertical do CG

A variação vertical da posição do CG (ou deslocamento vertical do CG) corresponde à diferença entre as alturas máxima e mínima do CG durante o ciclo de passo. Pretende-se que esta variação seja mínima, evitando-se aumentos desnecessários do tempo total de ciclo de passo (Ito, Komi, Sjodin, Bosco, & Karlsson, 1983).

Cavagna, Komarek, and Mazzoleni (1971) e Luhtanen and Komi (1980) observaram que em velocistas de elite, a oscilação do CG está inversamente relacionada com a velocidade de corrida, evidenciando que velocistas de elite têm uma oscilação vertical de 10,9 cm à velocidade de $3,9 \text{ m.s}^{-1}$ e de 6,7cm à velocidade de $9,3 \text{ m.s}^{-1}$. Mero, Luhtanen, and Komi (1986), num estudo realizado posteriormente, verificaram que atletas de elite, atletas de nível médio e de nível reduzido, apresentavam oscilações verticais diferenciadas na ordem de 0,047, 0,050 e 0,062m, respetivamente. Estas diferenças podem significar a existência de um melhor posicionamento da coxofemoral por parte de atletas de elite e de um menor ângulo na articulação do joelho.

Consequentemente, estas diferenças podem originar um menor tempo de travagem durante a fase de apoio (R. Mann & Murphy, 2015), potenciando assim, através das propriedades musculares elásticas, o aproveitamento das forças de reação do solo.

Outros estudos sobre a cinemática da corrida de velocidade apresentam oscilações verticais do CG entre os 0,06 m (Fenn, 1930), os $0,067 \pm 0,04$ m (Luhtanen & Komi, 1978), os $0,05 \pm 0,01$ m (Mero & Komi, 1985), e os 0,04 e 0,06 m (Ozolin, 1986). De uma forma geral, as referências indicam que os velocistas mais qualificados apresentam menores oscilações verticais do CG.

2.4.6. Inclinação do tronco

O posicionamento do tronco é considerado por R. Mann and Murphy (2015) um parâmetro fundamental na produção de um movimento eficiente. Este representa o ângulo constituído entre o segmento tronco e a vertical. É na fase inicial da aceleração que são alcançados os valores mais elevados de inclinação do tronco (A.E. Atwater, 1982), com implicação direta na amplitude de passo (Plamondon & Roy, 1984). Durante a fase de velocidade máxima, os atletas de elite diminuem a inclinação do tronco (R. Mann, 1986), assumindo uma posição mais ereta (A.E. Atwater, 1982). Esta posição permite maiores amplitudes de movimento e facilita os mecanismos de ação dos membros inferiores (J. M. Cissik, 2005).

Numa tentativa de quantificar a inclinação do tronco no início e final da fase de apoio, Hoskisson and Korchemny (1991) apresentaram valores médios durante a corrida de 100 metros, tendo reportado valores de $90,25^\circ$ para o Ângulo do Tronco no início do apoio e de $86,25^\circ$ para o final do apoio. Especificamente na fase de velocidade máxima da prova, Blount, Hoskisson, and Korchemny (1990) encontraram resultados distintos entre velocistas de elite e velocistas de nível médio. Os autores reportaram valores entre 79° e 83° no início do apoio e

entre os 80 e 86° no final do apoio para os atletas de elite, enquanto os velocistas de nível médio apresentaram ângulos do tronco entre 71 e 84° e 68 e 87° respectivamente para o início e final do apoio.

2.4.7. Ângulos de receção e de impulsão

Os ângulos de receção e de impulsão referem-se aos ângulos formados entre o segmento que une a parte anterior do pé e o CG e a horizontal, respectivamente nos instantes de receção (início do apoio) e de impulsão (final do apoio) (Figura 5). Porque a orientação das forças é contrária ao sentido do deslocamento, ângulos de receção mais elevados conduzem a maiores forças horizontais negativas, acentuando a fase de travagem. A literatura reporta ângulos médios de receção e impulsão ao longo da prova de 100 metros de 106,75° e 65° de respectivamente (Hoskisson & Korchemny, 1991). Outros valores encontrados na literatura para o ângulo de receção variam entre os 71,5 e 75,8° para atletas mais rápidos e os 66 e 77° para atletas menos rápidos (Mero & Komi, 1985; Proença, 1991) ou entre 102,58° na fase de aceleração, 99,93° na fase de velocidade máxima e 104,90 na fase de desaceleração (Cunha, Alves, & Veloso, 2002). Relativamente ao ângulo de impulsão é possível encontrar valores de 61,30°, 61,76° e 62,92° respectivamente para as fases de aceleração, velocidade máxima e desaceleração (Cunha et al., 2002).

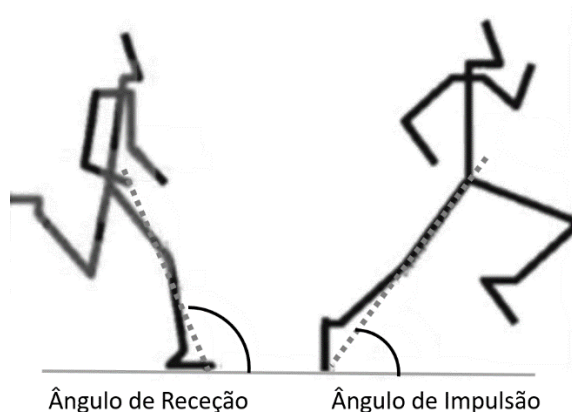


Figura 5. Ângulos de Receção e Impulsão (adaptado de Cunha et al. (2002).

2.4.8. Ângulos articulares e inter-segmentares nos instantes de receção e impulsão

Quando Yakimovich (1986) procura causas que diminuem a velocidade horizontal do CG, refere a maior variação do ângulo do tornozelo como um dos fatores responsáveis, referindo que essa variação induz uma diminuição do *stiffness* do membro inferior, e que representa uma dissipação de energia elástica. A menor variação deste ângulo está, portanto, associada a melhores performances na corrida de velocidade, encontrando-se na literatura amplitudes articulares do tornozelo que oscilam entre os 15° (R. A. Mann, Moran, & Dougherty, 1986) e os 34-38° (Ozolin, 1986).

São consensuais as referências encontradas na literatura relativamente ao ângulo do joelho do membro em apoio (Blount et al., 1990; Ito, Sagawa, Kato, Ae, & Kobayashi, 1993; R. Mann, 1985; Ozolin, 1986). Durante o apoio, o joelho do membro de apoio apresenta uma flexão que varia entre os 4 e os 10° (Ozolin, 1986), alterando-se de 145-160° no início do contacto (receção) (Elliott & Blanksby, 1979b; Hoskisson & Korchemny, 1991; Mero & Komi, 1985; Mero, Luhtanen, Komi, & Susanka, 1988) para 147° sensivelmente a 50% da fase de apoio (Stoffels, Kober, Dal Pupo, Junior, & Mota, 2007). No instante final do apoio (*take-off*) varia entre os 150° e 165° em velocistas de elite e entre os 150° e 170° em velocistas medianos (Blount et al., 1990). Esta menor extensão do joelho apresentada por velocistas de elite é considerada uma estratégia

para minimizar o gasto energético e o tempo de apoio, e maximizar a eficiência do trabalho muscular (R. Mann, 1985).

A flexão da articulação do joelho da perna livre é também usualmente referenciada como um dos fatores diferenciadores de velocistas de nível competitivo superior. Durante a fase de balanço do membro inferior, a flexão do joelho permite uma diminuição da distância entre o CG do membro inferior e a articulação coxofemoral, induzindo uma diminuição do momento de inércia do membro inferior e consequentemente um aumento da velocidade do membro inferior, com a manutenção ou redução do trabalho muscular (Dyson, 1977). No entanto, Tupa, Gusejnov, and Mironenko (1991) encontraram uma grande variabilidade neste ângulo em velocistas de elite, e R. Mann (1986) não encontrou diferenças estatisticamente significativas entre velocistas de níveis competitivos distintos.

O instante em que ocorre a máxima flexão do joelho da perna livre é também bastante analisado na literatura. Enquanto que Dillman (1975) refere que o instante da flexão máxima do joelho acontece quando a coxa passa o eixo vertical do tronco, Dyson (1977) afirma que esse instante ocorre no início do apoio contra-lateral. Independentemente do instante em que ocorre a máxima flexão da perna livre, são reportados ângulos de 54° no início no apoio (instante e recepção) e de 60,3° no final do apoio (instante de *take-off*) (Hoskisson & Korchemny, 1991).

O ângulo da coxa livre (ângulo formado pela coxa livre e a horizontal) é outro parâmetro cinemático bastante referenciado na literatura (A. E. Atwater, 1973; Dillman, 1975; Dyson, 1977; Hoskisson & Korchemny, 1991; R. Mann, 1985, 1986; Sinning & Forsyth, 1970). Quanto maior for, maior será a amplitude do movimento articular possibilitando maiores velocidades angulares (Bunn, 1972). Apresenta uma correlação elevada com a velocidade horizontal do CG ($r=0,570$; $p\leq 0,01$) (Deshon & Nelson, 1964), sendo considerado um fator de rendimento importante (A. E. Atwater, 1973; Dillman, 1975; Dyson, 1977; Hoskisson & Korchemny, 1991; R. Mann, 1985, 1986; Sinning & Forsyth, 1970). Um bom e rápido movimento de elevação da coxa

livre permite ao atleta posicionar corretamente o pé para o contacto com o solo, dando início à próxima fase de apoio (Hay, 1993). A literatura reporta para este ângulo no instante de impulsão (*take-off*) valores que variam entre os $18,4 \pm 5,7^\circ$ para velocistas masculinos de alto rendimento (Tupa, Dzhalilov, & Shulalov, 1991) e os $22,0 \pm 5,0^\circ$ para jovens velocistas masculinos (Stoffels et al., 2007).

O ângulo entre coxas, que representa o ângulo formado entre ambos os segmentos corporais da coxa, no instante de receção (início do apoio) tem sido também analisado como um importante parâmetro de rendimento (Haugen et al., 2017). Valores mais reduzidos encontram-se relacionados com os valores mais elevados de velocidade (Kunz & Kaufmann, 1981).

2.4.9. Velocidade horizontal do pé

De forma a evitar uma travagem excessiva no instante de contacto com o solo, o velocista deve puxar ativamente o pé para trás o mais rápido que conseguir, instantes antes do contacto. Segundo R. Mann and Murphy (2015), quanto maior for a velocidade horizontal do pé em sentido contrário à do CG, mais rápido e mais económico será o desempenho. Os autores demonstraram que este é um fator discriminador do desempenho competitivo, implicando menores tempos de apoio, frequências de passo superiores e consequentemente maior velocidade horizontal de deslocamento (R. V. Mann & Herman, 1985). Na verdade, o que provoca a diminuição da velocidade horizontal do CG na fase negativa do apoio, é o facto do CG e o pé de apoio terem o mesmo sentido de deslocamento no início do apoio (ambos estão em deslocamento anterior). Para que isso não aconteça, o velocista terá de ter a capacidade de movimentar o pé para trás, a velocidade igual ou superior à do CG. Segundo R. Mann and Murphy (2015), este é o verdadeiro desafio dos velocistas: procurar aumentar a velocidade

horizontal negativa do pé no instante de contacto pelo menos à mesma velocidade do CG. No entanto, esta parece ser uma tarefa impossível, pois mesmo um bom velocista “apenas” consegue produzir velocidades horizontais do pé na ordem dos $8,5 \text{ m.s}^{-1}$ (R. Mann & Murphy, 2015). Outras referências na literatura apontam valores que oscilam entre $1,8$ e $2,7 \text{ m.s}^{-1}$ (Ozolin, 1986) e $6,7$, $7,6$ e $8,5 \text{ m.s}^{-1}$ respetivamente para velocistas de nível fraco, médio e elevado (R. Mann & Murphy, 2015).

2.5. O treino da velocidade

Segundo a opinião generalizada do contexto desportivo e até científico, a velocidade é determinada, em grande medida, por fatores genéticos, sendo, portanto, menos treinável que, por exemplo, a força ou a resistência (Weineck, 2005). Um adulto não treinado poderá, com o treino adequado, melhorar a sua marca aos 100m em cerca de 15-20%, apenas se ultrapassando esta percentagem em casos muito extraordinários (Hollmann & Hettinger, 1980). Esta circunstância está relacionada com condicionantes neuromusculares que são determinadas geneticamente, como a composição muscular (quantidade de fibras de contração rápida) e a qualidade dos processos nervosos (velocidade de propagação dos impulsos nervosos, capacidade de recrutamento muscular, capacidade de coordenar os processos de contração e relaxamento muscular) (Weineck, 2005). O treino terá uma influência limitada no desenvolvimento destes fatores, melhorando a capacidade de coordenação e aumentando o volume muscular (área de secção transversal), mas não atuando sobre o modelo de distribuição percentual das fibras musculares (Weineck, 2005). Como demonstram os estudos mais recentes, a eficácia do processo de treino depende, por um lado, do tipo de atividade realizada e, por outro, do momento (idade) mais oportuno para a sua aplicação (Vieira, 1996). A prioridade deve ser dada às manifestações puras ou elementares da velocidade (velocidade de reação, velocidade de frequência, velocidade de execução), sendo estas mais facilmente treináveis na

infância e primeira fase da puberdade (Weineck, 2005). Num período de grande plasticidade, tanto dos tecidos muscular, ósseo, e nervoso, como hormonal, é possível influenciar a formação de programas temporais e modificações fatores estruturais do músculo (Vieira, 1996), embora os parâmetros dependentes da força muscular se consigam potenciar apenas um pouco mais tarde (Weineck, 2005). A figura 6 apresenta uma visão global resumida das magnitudes de influência que atuam sobre o fator de rendimento que é a velocidade.

Magnitudes de Influência				R A P I D E Z
Genética, Desenvolvimento e Aprendizagem	Sensoriais, Cognitivas e Psíquicas	Neural	Musculo-tendinosa	
Idade	Concentração (atenção seletiva)	Recrutamento e frequência de descarga da unidades motoras (coordenação intramuscular)	Distribuição do tipo de fibras musculares	
Sexo				
Antropometria	Receção e processamento da informação, regulação e condução	Alternância de excitação/ inibição do SNC (coordenação intermuscular)	Secção transversal da fibras musculares de contração rápida	
Constituição Muscular			Velocidade de contração muscular	
Técnica Desportiva			Elasticidade do complexo músculo- tendinoso	
Talento	Motivação, força de vontade, disposição à fadiga, capacidade de impor-se	Coativação	Capacidade de alongamento (viscosidade)	
Socialização	Conhecimentos, experiência, capacidade de antecipação	Velocidade de transmissão do impulso nervoso	Comprimento dos músculos	
	Força mental	Preinervação	Produção energética	
	Capacidade de Aprendizagem	Inervação reflexa	Temperatura do músculo	
		Padrão de inervação neuromuscular (programa temporal)		
		Neurobioquímica		

Figura 6. Magnitudes de influência da velocidade. Adaptado de Weineck (2005)

2.5.1. Os princípios metodológicos

Enquanto não existe nenhuma fórmula específica para o desenvolvimento da velocidade, conhecem-se algumas orientações metodológicas que devem ser seguidas por quem treina para desenvolver a velocidade. Segundo Brown and Ferrigno (2005) e Lizaur, Martín, and Padial (1989) devem ser considerados os seguintes princípios metodológicos:

1. Todos os exercícios de velocidade devem ser realizados quando o organismo se encontra totalmente recuperado de exercícios anteriores. Um atleta fatigado, dorido ou em sobrecarga não consegue melhorar suas capacidades de velocidade. Portanto, o desenvolvimento da velocidade deverá ocorrer no início da sessão de treino;
2. A técnica adequada de corrida deve ser assimilada pelos atletas através da execução sistemática de exercícios técnicos durante um período longo de tempo. A velocidade não melhora após uma semana de exercícios técnicos. Isso é um processo moroso, que advém de vários meses de trabalho árduo e centenas de execuções técnicas;
3. Os exercícios de treino devem realizar-se sempre à máxima velocidade de execução (máxima intensidade), caso contrário o estímulo será insuficiente e não se atingirão os benefícios pretendidos. Devem ser realizadas poucas repetições e a duração dos exercícios não deve aumentar com as repetições;
4. Todas as séries e repetições prescritas numa sessão de velocidade devem ser acompanhadas por um adequado período de recuperação. A frequência cardíaca e a ventilação devem retomar aos níveis basais antes de iniciar nova repetição. Qualquer exercício de velocidade que dure entre 6 a 8 segundos, realizado à máxima intensidade de esforço, terá implicações no sistema energético ATP-CP e no sistema nervoso central. Como tal, deve permitir-se uma pausa prolongada entre as repetições, que permitam a reposição das reservas energéticas aos níveis anteriores e garantam a máxima intensidade na repetição seguinte repetição. Esta recuperação é melhor se for

ativa, com exercícios de estiramento e descontração, mobilidade articular ou trote suave e regenerativo;

5. Para atingir a velocidade máxima, o atleta deve aprender a correr de forma descontraída e em simultâneo produzir a máxima intensidade de esforço. Contrações musculares parasitas acentuarão o desgaste físico e prejudicarão o desempenho;
6. As sessões de treino da velocidade devem ser precedidas por um período de aquecimento dinâmico e rotinas de flexibilidade que preparem o atleta para uma intensidade de esforço máxima.

2.5.2. O treino da velocidade máxima

As características do treino da velocidade máxima baseiam-se no Método das Repetições, no qual a Intensidade é máxima (95 a 100%) ou supramáxima. Para se atingir a velocidade máxima, são necessários 30 a 40 metros de aceleração, percorridos à máxima intensidade. Desta forma, para evitar o desgaste físico resultante da partida baixa ou estática e da aceleração, estas fases são substituídas por uma corrida introdutória progressiva, sem grande desgaste. Este treino é conhecido por Corrida Lançada. Outra forma clássica de treinar a velocidade máxima é através da integração das corridas em *“IN and OUT”* (Vieira, 1996). Este exercício procura treinar a coordenação intermuscular e sobretudo a relaxação em esforço máximo. A corrida em condições de facilitação é uma forma de se integrarem intensidades de corrida supramáximas, o que se constitui como fator determinante para evitar a “barreira da velocidade” (estagnação) (J. M. Cissik, 2005). Estes exercícios assistidos permitem ao atleta aumentar a frequência de passo e que todos os sistemas do corpo se adaptem aos movimentos de alta velocidade que serão depois transferidos para os movimentos competitivos (sem assistência) (Dintiman & Ward, 2003). Criando um ambiente de velocidade supramáxima, o ciclo muscular alongamento-encurtamento (CMAE) pode também potenciar a eficiência da fase de

contacto com o solo. Isto permite que os músculos sejam capazes de suportar maiores cargas de alongamento e provavelmente armazenar mais energia elástica, aumentando o *stiffness* muscular na fase excêntrica do CMAE (Faccioni, 1994b). O volume é determinado de acordo com o princípio da individualização. Contudo, um número considerado ótimo situa-se próximo das 6 repetições em velocidade máxima ou supramáxima. O treino da velocidade deverá ser, obviamente, combinado com o treino da força rápida e da força reativa. As tabelas 1 e 2 apresentam vários exemplos de como estruturar uma sessão de treino da velocidade máxima.

Tabela 1. Estrutura clássica de uma sessão de treino visando o desenvolvimento da velocidade máxima.

	Intensidade (%)	Distâncias	Partida	Repetições	Pausa repouso (min)
Velocidade submáxima	75-90	Secções de 10-30m (até 100)	Lançada	1-6	3-5
Velocidade máxima	90-100	Secções de 10-30m (até 100)	Lançada	1-6	6-8

Tabela 2. Métodos de treino para melhorar a velocidade do *sprint* (adaptado de Hohmann, Lames, and Letzeier (2005)

Métodos de treino	Esforço	Intensidade	Tempo	Repetições	Séries	Pausa
Método de repetição: Sprints em deslocamento	Movimentos específicos do desporto	100%	Máximo	2-4	2-4	> 2 min a 10 min
Método de repetição: Sprints com alterações (sprints com graduação, in-and-outs)	Movimentos específicos do desporto	100%	Submáximo e máximo	2-4	2-4	> 2 min a 10 min
Método de repetição: Sprints supramáximos (sprints assistidos, terrenos declinados, entre outros)	Movimentos específicos do desporto	105-110%	Supramáximo	2-4	2-4	> 3 min a 10 min

2.5.3. Os meios e métodos de treino utilizados

Um método de treino sugestivo de aumentar a frequência da passada é o treino de velocidade assistido. Mero and Komi (1985) reportaram um aumento significativo na frequência da passada apenas na elite masculina. Um ano mais tarde, os mesmos autores (Mero & Komi, 1986), mostraram aumentos significativos na frequência da passada em todos os sujeitos exceto em atletas masculinos de elite. Noutro estudo (Mero & Komi, 1987), não se verificaram melhorias significativas na frequência da passada com o treino de velocidade assistido (superior a 106% da velocidade máxima). Estes resultados pouco consensuais parecem ser atribuídos à variação da intensidade da força de reboque, produzidas pelos diferentes métodos de treino estudados ou às distâncias de treino utilizadas. Muitos investigadores analisaram distâncias de 35 metros, outros utilizaram repetições de 30 metros e outros ainda centraram as suas investigações entre os 50 e 60 metros.

De qualquer forma, tanto a corrida assistida com parceiro como as repetições em rampa descendente, visam treinar a velocidade máxima e melhorar a frequência da passada. Devem-se utilizar distâncias suficientemente prolongadas que permitam atingir e manter a velocidade máxima (no mínimo 30m e no máximo 80m).

2.5.4. Os Sistemas de corrida assistida

A corrida assistida é um meio de treino da velocidade máxima que cria condições de facilitação nos sprints. Existem dois métodos utilizados por treinadores e praticantes para determinar a força de reboque (intensidade) apropriada para o treino. A primeira foi desenvolvida por Sandwick (1967), que mostra que um atleta deverá ser rebocado a uma velocidade em que o seu tempo nas 50 jardas (45,72 metros) seja 0,5 segundos mais rápido que as 50 jardas sem assistência. Outro método sugere que o atleta deverá ser rebocado, no máximo

a 110% da sua velocidade máxima (Clark et al., 2009). Caso alguma das premissas anteriores seja quebrada, pode colocar-se em causa os eventuais benefícios deste tipo de treino.

(a) Assisted Towing (reboque, elásticos, roldanas. Etc.)

Existem alguns instrumentos com a finalidade de proporcionar velocidade acima da intensidade máxima (velocidade supramáxima). O primeiro, designado por *Speed Belt* (Figura 7), permite treinar as partidas, acelerações e velocidades de corrida supramáximas. Para acelerações de curta distância, dois atletas podem-se ligar um ao outro através deste dispositivo e para corridas onde se atinge o máximo, os atletas podem percorrer mais de 100 metros. As limitações são o difícil controlo da velocidade de reboque (dependendo da tensão imposta à corda de borracha ou da passada do atleta). Também não permite uma desaceleração rápida após se atingir a velocidade máxima (se acontecer, poderá causar de imediato um problema muscular ao atleta). Normalmente, a corda é oca e danifica-se com facilidade quando em contacto com algo aguçado (sapatos de bico, por exemplo). Para um uso adequando da corda, esta deverá ser apenas alongada entre 5 a 10 metros para dar um efeito de puxada adequado ao atleta da retaguarda.



Figura 7. Sistema de reboque (*Speed Belt*) para o sprint assistido

Uma variante do *speed belt*, consiste em substituir esta cinta por bandas elásticas fortes. O objetivo é o mesmo, tendo-se a preocupação acrescida de manter, o maior tempo possível a

tensão adequada no elástico. Neste método de sprint assistido um indivíduo lidera e reboca um outro indivíduo com um elástico e o indivíduo que é rebocado concentra-se em treinar em velocidades supramáximas. O atleta não deve permitir-se relaxar e ser apenas puxado pelo colega, deverá antes assumir uma atitude ativa e correr à máxima intensidade, aumentando a sua frequência de passada à medida que o elástico realiza a sua função.

Um segundo aparelho de corrida assistida é o *Ultra Speed Pacer*, que se baseia num sistema de roldanas que suportam corridas de velocidade supramáximas. A vantagem deste aparelho é que os atletas que puxam, não necessitam de realizar tanto esforço para criar e manter o efeito de reboque no atleta da retaguarda, facilitando o controlo da velocidade. Se o atleta sentir que está a ir depressa demais, existe um dispositivo de segurança que lhe permite interromper a continuidade do exercício. As maiores desvantagens deste equipamento é que ele necessita de estar ligado a um dispositivo sólido e imóvel, e não permite a utilização simultânea por mais de um atleta.

Outro aparelho que está comercialmente disponível é o *Speed Harness™*. Este aparelho assegura a assistência aos atletas, permitindo atingir velocidades supramáximas (Upton, 2011). Um outro sistema constituído por cordas e polia e que permite atingir velocidades supramáximas é o designado *Stroops Double-Time™ Overspeed Trainer*. Vittori and Bosco (1983) projetaram um sistema de “reboque” horizontal que permite atingir velocidades supramáximas (*OverSpeed System, manufactured by Juhakoshi Ky, Jyväskylä, Finland*). Este sistema, que consiste num motor elétrico ligado a uma roda côncava, que quando acionado, enrola uma corda de borracha (100m distância). A outra ponta da corda é fixada num cinto perto do centro de gravidade do atleta. A força que o aparelho exerce é de uma intensidade uniforme, transmitida ao atleta através da corda numa amplitude entre 100-150 Newton. A máxima velocidade que o aparelho consegue induzir é cerca de 15 m.s^{-1} (Vittori & Bosco, 1983).

Um outro sistema de “reboque” horizontal e vertical acionado por um motor projetado por (Bosco & Vittori, 1986), que conduz o atleta para cima e para a frente, por uma corda elástica, conectada a um motor de “reboque”. A velocidade que este equipamento pode atingir é muito alta. No entanto, parte da carga que deveria estimular os músculos dos membros inferiores é retomada pelo sistema de puxar, diminuindo assim o estímulo mecânico que poderia desenvolver um aumento do tônus muscular (Vittori & Bosco, 1983).

(b) Downhill sprinting

A corrida em terreno declinado é largamente utilizada entre atletas e treinadores. No entanto, nem todos concordam com os seus benefícios e alguns autores afirmam que este método pode reduzir a amplitude da passada, limitando a fase de “empurrar” mesmo que a frequência da passada aumente (Bosco & Vittori, 1986).



Figura 8. Sprint em terreno declinado

Este método, segundo Ebben et al. (2008), é o mais popular, por ser mais eficiente e possuir um melhor custo-benefício. É direcionado para melhorar a frequência da passada, em que o atleta utiliza a sua massa e a força da gravidade para induzir velocidades de sprint além daquelas que ele próprio consegue atingir. Kunz and Kaufmann (1981) analisaram o efeito do treino de velocidade em terreno com declive de 3%, tendo observado que, apesar da condição facilitadora permitir o aumento da velocidade horizontal em 0.5 m.s^{-1} e da amplitude de passo, ela não conduziu a qualquer aumento na frequência da passada. Os autores concluíram que este meio de treino tem um impacto reduzido no sistema neuromuscular, ao contrário de outras formas de treino de corrida assistida. Neste sentido, tem vindo a ser recomendado que o declive

não exceda os 2-3°, de modo a prevenir alterações na mecânica da corrida (J. M. Cissik, 2005). Num estudo de Ebben et al. (2008) é recomendado um declive de 5.8°, já que este conduziu a velocidades mais elevadas sem alterar o padrão mecânico da corrida. Outras referências disponíveis na literatura recomendam declives de 1-2,5% (Dintiman & Ward, 2003) 5° (Klinzing, 1981) e entre 3 a 7° (Plisk, 2000).

Apesar de este método ser muito popular, também se lhe reconhecem algumas desvantagens. A utilização de declives mais acentuados que 3% pode conduzir a um aumento exagerado da amplitude de passo, sem qualquer benefício no aumento da frequência. Existe também algum conflito de resultados, o que não promove níveis de confiança suficientes para a utilização deste método no treino da velocidade máxima.

(c) High speed treadmill running

Este método permite ajustar a velocidade de corrida para além da capacidade do atleta. A cinemática do sprint na passadeira é muito similar ao sprint no solo e à medida que a velocidade aumenta, a frequência da passada aumenta e o tempo de voo diminui. Durante uma velocidade elevada, numa passadeira declinada (Figura 9), as adaptações na frequência da passada são formadas pelo aumento da ativação muscular dos membros inferiores (Faccioni, 1994b). Segundo Wood (1987), este método de treino tem um foco principal nos posteriores da coxa (hamstrings), verificando-se aumentos no momento de força de extensão da coxofemoral e flexão do joelho. Os *hamstrings* são sujeitos a um stress considerável e todas as componentes deste grupo muscular encontram-se a alongar (contraem excentricamente momentos antes do contacto com o solo), e onde ocorrem por vezes ruturas das fibras musculares (Gray, 1975). O treino regular de velocidades supramáximas irá aumentar a carga excêntrica neste grupo muscular, devendo dar-se particular atenção às situações de possível lesão muscular. Este

método não é totalmente perfeito porque encerra em si a dificuldade de criar padrões de aceleração apropriados e de utilizar a energia cinética produzida, devido ao facto do tapete rolante se encontrar em movimento.



Figura 9. Passadeira rolante declinada

(d) Considerações e recomendações

Das três formas de sprints assistidos apresentados anteriormente, aquela que aparenta apresentar os melhores resultados é o reboque assistido. Apesar da corrida em terreno declinado ser um meio de treino barato, apresenta vários problemas como a dificuldade de encontrar o espaço adequado com o declive apropriado e que permita atingir os objetivos pretendido. A corrida de alta velocidade em tapete rolante, pode ser uma opção viável, mas tem um custo associado para a maioria dos atletas. O reboque assistido é o melhor método pelas características específicas do desporto, o atleta continua a sentir a experiência da fase de aceleração, com transição para fase de velocidade máxima. Na corrida de alta velocidade em tapete rolante tornar-se difícil garantir a realização da fase de aceleração e na corrida em terreno declinado será difícil controlar essa fase devido a inclinação do tronco para a frente. O treino de velocidade supramáxima deverá constituir-se uma componente de treino que, complementarmente aos métodos tradicionais e resistivos, concorre para o desenvolvimento

da velocidade. Como componente de treino de elevada intensidade, o respetivo volume deverá respeitar o princípio da progressão, a técnica de corrida deverá estar totalmente dominada e constantemente controlada, e o atleta deverá estar suficientemente motivado e bastante concentrado para a realização de esforço máximo.

Segundo Mouchbahani, Gollhofer, and Dickhuth (2004), o sprint assistido deverá ser utilizado especificamente a nível individual, pois depende das capacidades físicas e habilidades técnicas do atleta. A coordenação intramuscular e intermuscular são pré-requisitos necessários para se tirar o máximo benefício do sprint assistido. A velocidade supramáxima deverá ser mantida no máximo entre 10 a 15m. É importante que os atletas corram com uma frequência de passada elevada, sem encurtar a sua amplitude. É comum encontrarem-se recomendações para que velocistas (masculinos) com marca igual ou superior a 11 segundos, não devem ser assistidos por mais de 40 a 50m, enquanto velocistas mais rápidos (menos de 11 segundos) podem ser assistidos por 50 a 60m ou mesmo mais.

É sugerido utilizar forças de reboque assistido no máximo de 3,8% da massa corporal individual (Clark et al., 2009). Estes autores referem ainda que a tensão ideal de reboque pode ser determinada a partir da massa corporal individual e da capacidade de alongamento do elástico, tendo em consideração a seguinte equação:

$$\% \text{ MC} = (\text{força a 100\% alongamento do elástico} / \text{massa corporal do sujeito}) \times 100).$$

Na melhoria da aceleração, 30% da massa corporal parece ser o valor mais indicado na diminuição aguda nos tempos de sprint como demonstrado em jogadoras de futebol femininas (Bartolini et al., 2011).

2.5.5. Efeitos da corrida assistida na performance

Segundo Faccioni (1994b) a corrida assistida proporciona aumentos na frequência da passada, na ativação muscular, nas forças de reação do apoio, *stiffness* muscular, armazenamento de energia elástica e eficiência no aumento da contração muscular e na técnica de corrida durante a corrida supramáxima. O mesmo autor refere que a frequência e amplitude da passada contribuem 6,9% e 1,5%, respetivamente para aumento da velocidade verificado na condição de intensidade supramáxima. Isto significa um benefício importante para o treino de velocidade, promovendo adaptações neuromusculares que contribuem para o aumento da performance de alto rendimento. Mero and Komi (1990) referem que o aumento da velocidade de corrida promovido pela condição facilitadora, é acompanhado por um aumento de 2,5% e 6,2% respetivamente da frequência e amplitude da passada. Esta discordância de resultados resulta da utilização de uma velocidade supramaxima mais elevada (109%). Velocidades acima de 106% levam a um aumento mais acentuado da amplitude da passada em detrimento da frequência (Mero & Komi, 1990). Segundo os mesmos autores (Mero, Komi, Rusko, & J., 1987), a prescrição de uma velocidade supramáxima de $104\% \pm 3,4\%$, promove o aumento horizontal (1052N) e vertical (3481N) de produção de força durante o apoio relativamente à condição de não assistido (880N e 2704N respetivamente). Esse aumento das forças de impacto ficou a dever-se ao aumento da distância de receção (31 e 27 cm, respetivamente para as condições de assistência e sem assistência). O aumento do *stiffness* muscular é vantajoso na fase excêntrica na atividade do CMAE, na tolerância de grandes cargas de alongamento, facilitando o armazenamento de energia elástica e melhorando a potência muscular (Mero & Komi, 1986). Segundo Ito et al. (1983), o armazenamento da energia elástica beneficia o rendimento desportivo e aumenta com a velocidade de corrida (1,9 a 6,1 m.s⁻¹). Criando um ambiente de velocidade acima do normal, desenvolver-se-á a atividade de alongamento-encurtamento do sistema neuromuscular, o que se traduz na melhoria da eficiência do contacto com o solo. Foi

mostrado que em várias estudos, que corridas a velocidades supramáximas resultam na diminuição dos valores da força excêntrica horizontal e vertical (1052N para 916N e de 3481N para 3176N respetivamente para as componentes horizontal e vertical das forças de reação do apoio)., o que resultou numa diminuição da amplitude da passada (2,21 a 2,19m) e num aumento da frequência da passada (4,65 a 4,69 Hz) e uma velocidade horizontal do pé no início do contacto (positiva) menor (2,03 a 1,77 m.s⁻¹). Isto significa que os atletas tentaram aumentar a velocidade com o membro que vai realizar o apoio no sentido contrário ao deslocamento do CG, permitindo uma melhor eficiência na colocação do pé no apoio.

Segundo o estudo de Mero et al. (1987), um potencial problema do treino com intensidades supramáximas é permitir que os atletas sejam puxados a intensidades submáximas, o que diminui a ativação muscular (sinal EMG) e a frequência da passada. É importante que os atletas sejam instruídos para correrem à máxima intensidade quando são submetidos ao reboque. Segundo um estudo de Corn and Knudson (2003), o reboque com uma corda elástica durante a fase de aceleração, resultou em aumentos significativos da velocidade de corrida, amplitude da passada e da distância de receção. Majdell and Alexander (1991) examinaram os efeitos do sprint com intensidade supramáxima (com assistência) na cinemática da corrida, não tendo encontrado diferenças significativas em nenhum parâmetro analisado. A exceção situa-se ao nível da cinética do apoio, no qual se verifica a redução significativa das forças de reação do apoio. Segundo Corn and Knudson (2003), o sprint assistido não promove alterações significativas na frequência da passada, o que parece ser contraditório relativamente à crença de muitos treinadores e atletas. Estes autores reportaram apenas aumentos significativos da amplitude de passo com 40-50N de tensão no reboque, não tendo observado qualquer incremento na frequência de passo. De facto, tem-se demonstrado aumentos significativos na amplitude da passada utilizando forças de assistência de reboque de 3,8% a 4,7% da massa corporal. No entanto, ao contrário do apresentado por Corn and Knudson (2003),

são também relatadas tendências para o aumento da frequência da passada, à medida que cresce a magnitude da força de reboque (Clark et al., 2009). A este propósito, Mero et al. (1992) encontraram uma correlação significativa entre a frequência da passada e as alterações na ativação muscular (sinal EMG) durante a fase excêntrica do apoio (travagem), sugerindo que o aumento da atividade neural tem um positivo efeito na frequência da passada. Contrariamente às investigações anteriores, Bartolini et al. (2011) sugerem que o estímulo do sprint assistido gera uma amplitude de passada exagerada, com influência negativa na força de travagem devido ao aumento significativo da distância de receção, a qual resulta numa travagem durante a fase inicial do apoio.

Capítulo 3: Metodologia

Este capítulo inclui a descrição dos meios e métodos utilizados na fase experimental do estudo e os respetivos procedimentos de análise.

3.1. Amostra

A amostra foi constituída por uma atleta ($n=1$) do sexo feminino (idade: 20 anos, altura: 168 cm e massa corporal: 53kg), com prática regular e sistematizada da especialidade há 7 anos, diversas participações em competições nacionais e internacionais dos escalões de juniores e sub-23. A atleta, à altura das avaliações, era do escalão de sub-23, ainda em percurso de desenvolvimento desportivo (marcas aos 100m e 200m, 12,09s e 25,17s respetivamente).

3.2. Desenho experimental

A atleta realizou situações de corrida de velocidade submáxima, máxima e supramáxima na pista de atletismo (tartan) e em tapete rolante (laboratório). Num primeiro momento, procedeu-se à determinação da velocidade máxima da atleta, em ambiente natural de prática e com o calçado habitualmente utilizado em treino e competição. As recolhas foram efetuadas na pista de atletismo coberta (nave de atletismo) do Centro de Alto Rendimento (CAR) Prof. Mário Moniz Pereira, no Jamor. Depois de um período de aquecimento de ≈ 30 minutos, que incluiu uma ativação geral (5 minutos de esforço aeróbio de intensidade baixa a moderada) e exercícios específicos de velocidade que reproduziram tarefas e intensidades utilizadas em competição, foram realizadas duas repetições quase máximas ($\approx 95\%$ do máximo) e duas repetições máximas de 10 metros lançados (≈ 30 metros de aceleração). Para garantir a total recuperação da atleta, foram concedidos 10 minutos de pausa entre repetições. Todas as repetições foram filmadas por um sistema integrado de seis câmaras de infravermelhos de alta velocidade (Qualisys Oqus-300 and Qualisys Track Manager, Qualisys AB, Gothenburg, Sweden[®]), num espaço calibrado de 10 metros (correspondendo à fase de estabilização da velocidade), a uma taxa de aquisição de 300Hz. Um sistema de cronometragem eletrónico (células fotoelétricas – Chronojump-Boscosystem[®], Spain) controlou e registou o tempo efetuado nos 10 metros de avaliação (percurso de velocidade constante) (Figura 9).



Figura 10. Perspetiva do protocolo experimental para determinação da velocidade máxima (Nave de atletismo CAR Jamor).

Num segundo momento de avaliação, foram realizadas repetições submáximas de diferentes intensidades ($\approx 75, 80, 85, 95\%$), máximas (100%) e supramáximas ($\approx 106\%$) em tapete rolante (h/p/cosmos pulsar® 3p 4.0), com 0% de inclinação. As recolhas foram efetuadas no Laboratório de Fisiologia e Bioquímica da Faculdade de Motricidade Humana, Cruz-Quebrada, dois dias após o primeiro momento de avaliação. Depois de um período de aquecimento que replicou o anterior, a atleta realizou quatro repetições submáximas ($22, 24, 26, 28 \text{ Km/h} \Leftrightarrow 6,1, 6,7, 7,2, 7,8 \text{ m.s}^{-1}$), uma repetição à velocidade máxima ($30 \text{ Km/h} \Leftrightarrow 8,3 \text{ m.s}^{-1}$) e duas repetições a velocidade supramáxima ($32 \text{ km/h} \Leftrightarrow 8,9 \text{ m.s}^{-1}$). À semelhança do primeiro momento de avaliação, foram concedidos cerca de 10 minutos de pausa entre repetições. Todas as repetições foram filmadas pelo mesmo sistema integrado de seis câmaras de infravermelhos de alta velocidade, a uma taxa de aquisição de 300Hz , tendo permitido o registo de 2 a 6 ciclos de passo (dependendo da velocidade de corrida). O protocolo experimental utilizado em ambiente de laboratório está apresentado na figura 10.



Figura 11. Perspectiva do protocolo experimental em ambiente de laboratório (Faculdade de Motricidade Humana).

A atleta foi instrumentada com 46 marcas refletoras, distinguindo-se entre elas 16 marcadores anatômicos (*anatomical markers*), colocados sobre proeminências ósseas, definiam as extremidades proximais e distais dos segmentos corporais e a orientação de cada segmento corporal (definição do respetivo sistema de coordenadas), e 30 marcadores de seguimento (*tracking markers*), colocados sobre os segmentos corporais a estudar, sob a forma de clusters de 4 ou mais marcas. A identificação das diferentes marcas está listada na tabela 3 e parcialmente apresentada na figura 12.

Tabela 3. Identificação as marcas refletoras utilizadas para definição do modelo biomecânico de estudo

Identificação	Descrição	Tipologia
RASIS	Right Antero Superior Iliac Spine	Anatomical marker
LASIS	Left Antero Superior Iliac Spine	Anatomical marker
RPSIS	Right Posterior Superior Iliac Spine	Anatomical marker
LPSIS	Left Posterior Superior Iliac Spine	Anatomical marker
RTH1	Right Thigh Cluster 1	Tracking marker
RTH2	Right Thigh Cluster 2	Tracking marker
RTH3	Right Thigh Cluster 3	Tracking marker
RTH4	Right Thigh Cluster 4	Tracking marker
RTH5	Right Thigh Cluster 5	Tracking marker
RTH6	Right Thigh Cluster 6	Tracking marker
RLK	Right Lateral Knee	Anatomical marker
RMK	Right Medial Knee	Anatomical marker
LTH1	Left Thigh Cluster 1	Tracking marker
LTH2	Left Thigh Cluster 2	Tracking marker
LTH3	Left Thigh Cluster 3	Tracking marker
LTH4	Left Thigh Cluster 4	Tracking marker

LTH5	Left Thigh Cluster 5	Tracking marker
LTH6	Left Thigh Cluster 6	Tracking marker
LLK	Left Lateral Knee	Anatomical marker
LMK	Left Medial Knee	Anatomical marker
RSH1	Right Shank Cluster 1	Tracking marker
RSH2	Right Shank Cluster 2	Tracking marker
RSH3	Right Shank Cluster 3	Tracking marker
RSH4	Right Shank Cluster 4	Tracking marker
RSH5	Right Shank Cluster 5	Tracking marker
RSH6	Right Shank Cluster 6	Tracking marker
RLA	Right Lateral Ankle	Anatomical marker
RMA	Right Medial Ankle	Anatomical marker
LSH1	Left Shank Cluster 1	Tracking marker
LSH2	Left Shank Cluster 2	Tracking marker
LSH3	Left Shank Cluster 3	Tracking marker
LSH4	Left Shank Cluster 4	Tracking marker
LSH5	Left Shank Cluster 5	Tracking marker
LSH6	Left Shank Cluster 6	Tracking marker
LLA	Left Lateral Ankle	Anatomical marker
LMA	Left Medial Ankle	Anatomical marker
RFT1	Right Foot Cluster 1	Tracking marker
RFT2	Right Foot Cluster 2	Tracking marker
1RMT	1º Right Metatarsus	Anatomical marker
5RMT	5º Right Metatarsus	Anatomical marker
RFH	Right Foot Heel	Anatomical marker
LFT1	Left Foot Cluster 1	Tracking marker
LFT2	Left Foot Cluster 2	Tracking marker
1LMT	1º Left Metatarsus	Anatomical marker
5LMT	5º Left Metatarsus	Anatomical marker
LFH	Left Foot Heel	Anatomical marker

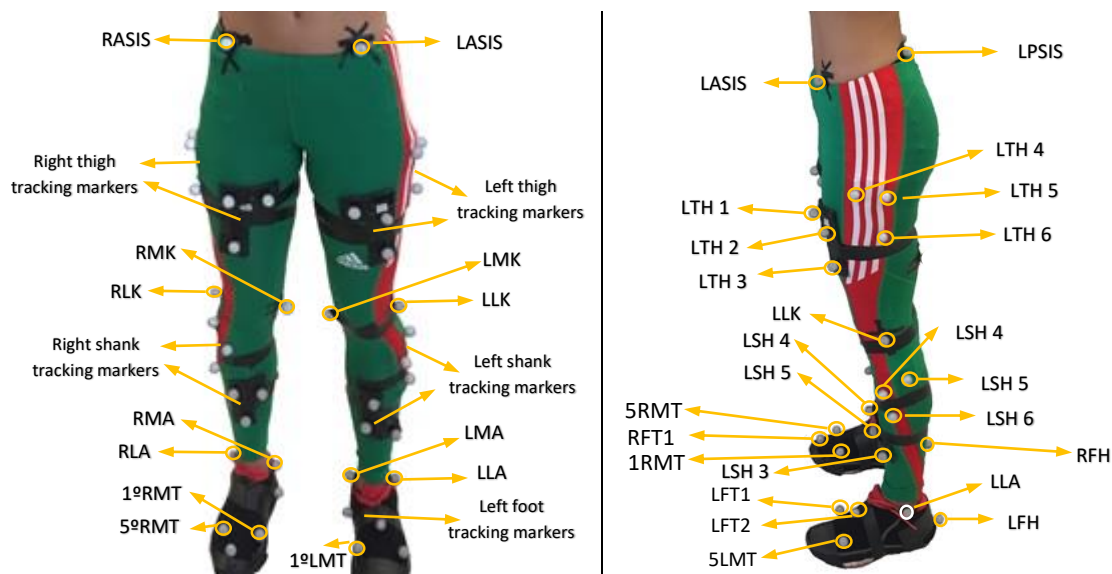


Figura 12. Preparação da atleta com marcas refletoras

O erro do sistema de captura foi determinado no início de cada sessão, no momento da respectiva calibração, tendo atingido uma dimensão média de $0,62 \pm 0,11$ mm. Na Figura 13,

podemos ver a representação virtual do espaço tridimensional no software de recolha utilizado (Qualisys Track Manager – QTM), nos dois momentos de avaliação.

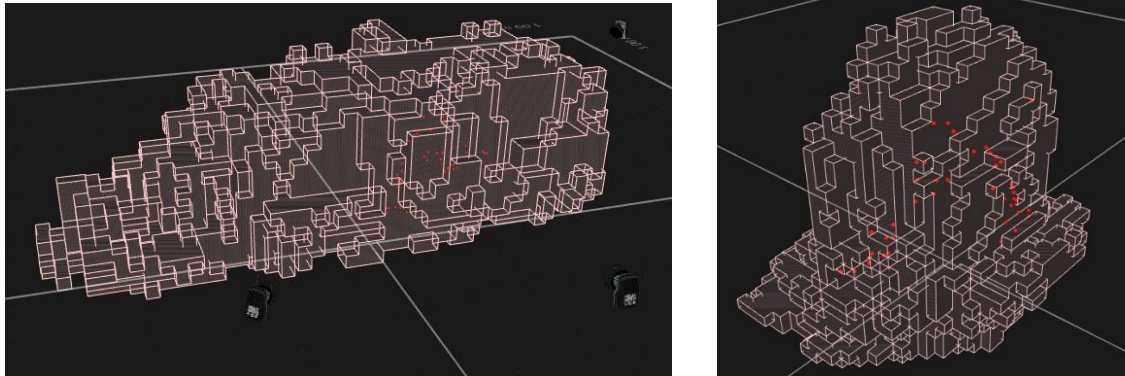


Figura 13. Representação virtual do espaço tridimensional das recolhas. Volume de captura visualizado no QTM, em ambiente natural (pista de atletismo) (à esquerda) e em contexto de laboratório (tapete rolante) (à direita)

3.3. Processamento de dados

As marcas refletoras previamente referidas permitiram a construção, em ambiente Visual 3D (Basic RT – Version 4.94.0, C-Motion, Inc[®], Rockville, USA), de um modelo biomecânico composto por sete segmentos corporais: pélvis, coxas, pernas e pés (figura 14). A modelação dos segmentos corporais utilizou as configurações CODA para a pélvis (Maynard, Bakheit, Oldham, & Freeman, 2003) e Visual 3D (Kepple, 1989; Kepple & Stanhope, 2000) para os restantes segmentos dos membros inferiores (coxas, pernas e pés). Tratando-se de uma tarefa de grande potência, onde as amplitudes articulares são elevadas e o movimento das massas das coxas e das pernas resulta automaticamente num elevado movimento das marcas de seguimento, foi necessário inserir constrangimentos articulares, reduzindo o número de graus de liberdade em cada articulação do modelo. Este processo, designado por otimização global, baseia-se na procura da posição e orientação ótimas da cadeia multiarticulada em cada *frame*, minimizando as diferenças entre as coordenadas reais das marcas e as coordenadas determinadas pelo modelo de constrangimentos imposto (Lu & O'Connor, 1999). A cadeia segmentar inicia-se na pélvis que realiza 3 translações e 3 rotações (flexão/extensão,

abdução/adução e rotações interna/externa), seguem-se as articulações esféricas da coxofemoral, joelho e tibiotársica onde são permitidas apenas 3 rotações (flexão/extensão, abdução/adução e rotações interna/externa). Foi utilizado o algoritmo de otimização de Levenberg-Marquardt (Trujillo & Busby, 1997) para a obtenção da solução de cinemática inversa.

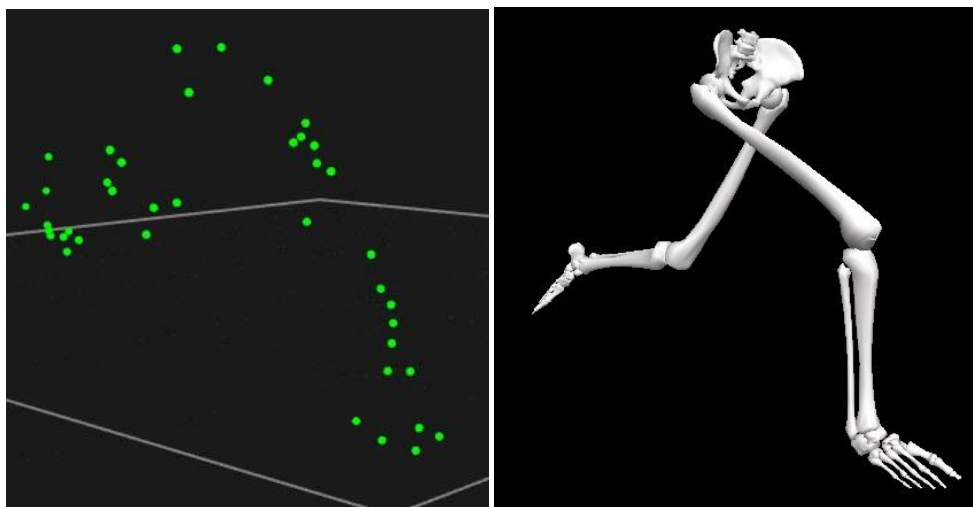


Figura 14. Representação virtual do modelo biomecânico criado. Representação gráfica dos marcadores (à esquerda) e visualização da modelação óssea no Visual 3D (à direita).

Para responder aos objetivos do estudo e determinar as variáveis cinemáticas de interesse, foram definidos para cada ciclo de passo, os eventos de início (*landing*) e final (*take-off*) de apoio. Estes eventos permitiram delimitar cada fase de apoio e determinar a consequente fase de suspensão do respetivo ciclo de passo. As variáveis de estudo (descritas no item seguinte) foram analisadas em cada ciclo de passo, e exportadas em ficheiro ansi para o Microsoft Excel 2010. O CG foi determinado a partir da reconstrução tridimensional do segmento pélvis no Visual 3D. Uma vez que o modelo possuía apenas 7 segmentos (pélvis e membros inferiores), o CG do segmento pélvis foi o ponto considerado como representativo do CG da totalidade do corpo.

3.4. Variáveis cinemáticas de estudo

Foram definidas e determinadas as seguintes variáveis cinemáticas de estudo:

- (1) Velocidade horizontal e vertical do CG
- (2) Amplitude de passo: distância horizontal percorrida pelo CG no ciclo de passo, desde o início do apoio até ao início do apoio seguinte. Corresponde à soma do deslocamento horizontal do CG na fase de apoio e na fase de suspensão;
- (3) Frequência de passo: número de passos por segundo. Determinada através da equação $Frequência\ de\ Passo = \frac{1}{t}$, onde t é a duração do passo em segundos, determinado pela soma dos tempos de apoio e de suspensão.
- (4) Tempo de apoio e Tempo de suspensão: Tempo de apoio corresponde ao período de tempo em que um dos membros inferiores se encontra em contacto com o solo, e tempo de suspensão, refere-se ao período de tempo em que não existe qualquer contacto com o solo.
- (5) Oscilação vertical do CG: variação vertical da posição do CG (ou deslocamento vertical do CG) durante o ciclo de passo. Corresponde à diferença entre as alturas máxima e mínima do CG durante a fase de apoio e suspensão.
- (6) Distâncias de receção e de impulsão: representam a distância horizontal entre a parte anterior do pé e a projeção vertical do CG, respetivamente nos instantes de contacto (início do apoio) e de *take-off* (final do apoio).
- (7) Ângulos de receção e de impulsão: ângulos formados entre o segmento que une a parte anterior do pé ao CG e a horizontal, respetivamente nos instantes de receção (início do apoio) e de impulsão (final do apoio).
- (8) Ângulos articulares durante o apoio: deslocamento angular da coxofemoral, joelho e tornozelo durante a fase de apoio.

- (9) Ângulo mínimo do joelho dos membros de apoio e recuperação: posição angular de maior flexão do joelho na fase de apoio, e na fase de balanço atrás (recuperação).
- (10) Separação entre joelhos no instante de receção. Distância horizontal entre as projeções verticais dos joelhos no instante de receção (início do apoio).
- (11) Velocidade horizontal do pé no início do apoio: velocidade horizontal negativa (contrária à do CG) do pé no instante de receção (início do apoio). Foi considerada, o instante imediatamente anterior ao de contacto com o solo.

Capítulo 4: Apresentação e Discussão de Resultados

Este capítulo apresenta e discute os resultados alcançados.

4.1. Intensidades de corrida

A determinação das intensidades de corrida submáxima, máxima e supramáxima foi realizada em ambiente natural de treino (pista de atletismo), em espaço coberto (nave de atletismo do Jamor) para evitar qualquer interferência das condições climatéricas, particularmente no que respeita à influência do vento. Foram realizadas duas repetições quase máximas ($\approx 95\%$) e duas repetições máximas (100%) de 10 metros lançados (≈ 30 metros de aceleração) com o calçado habitualmente utilizado em treino e competição. Os resultados, obtidos pelo sistema de células fotoelétricas na distância de 10 metros, correspondente à fase de velocidade constante, são apresentados na tabela 4:

Tabela 4. Intensidades de corrida e tempos efetuados nas repetições de 10 metros lançados, em ambiente natural de treino e competição – Pista de atletismo coberta.

Repetição / Intensidade	Velocidade (m.s ⁻¹)	Tempo (s)	Intensidade (%)
Rep 1 – Quase máxima	8,081	1,238	93,3
Rep 2 – Quase máxima	8,543	1,171	98,7
média	8,312	1,204	96,0
SD	0,327	0,047	3,773
Rep 3 – Máxima	8,658	1,155	100
Rep 4 – Máxima	8,606	1,162	99,4
média	8,632	1,159	99,7
SD	0,037	0,005	0,426

As intensidades de corrida no tapete rolante foram definidas em função da velocidade máxima registada em ambiente normal de prática. No entanto, devido ao facto da condição laboratorial não permitir a utilização do calçado de competição (sapatos de bicos), foram realizados pequenos ajustes nas intensidades, tentando compensar o referido *handicap*. Na tabela 5 são apresentadas velocidades realizadas em tapete rolante, relacionando-as com as atingidas em pista de atletismo.

Tabela 5. Velocidades e Intensidades de corrida atingidas em tapete rolante, e respetiva relação com as realizadas em pista.

Repetição / Intensidade	Velocidade (m.s ⁻¹)	Intensidade Tapete Rolante (%)	Intensidade Pista de Atletismo (%)
Submáxima 1	6,11	73,33	70,58
Submáxima 2	6,67	80,13	77,00
Submáxima 3	7,22	86,67	83,41
Submáxima 4	7,78	93,34	89,84
Máxima	8,33	100,00	96,25
Supramáxima	8,89	106,67	102,67

4.2. Velocidade horizontal do CG

Como as intensidades de corrida foram determinadas antecipadamente e impostas pelo software de controlo do tapete rolante, a velocidade horizontal máxima atingida pelo CG (aqui considerado como o CG do segmento pélvis), correspondeu às intensidades de corrida definidas para cada repetição. Na tabela 6 são apresentados os respetivos resultados.

Tabela 6. Velocidade horizontal do centro de gravidade durante uma passada, determinada para cada intensidade de corrida (submáximas, máxima e supramáxima) pelo software de controlo do tapete rolante.

Variável	Intensidades Submáximas				Intensidade Máxima	Intensidade Supramáxima
Velocidade horizontal do CG (m.s ⁻¹)	6,11	6,67	7,22	7,78	8,33	8,89

Considerando que a atleta possuía, na altura das recolhas, 12,09s como melhor marca na corrida de 100 metros, o que determina uma velocidade horizontal média de corrida de 8,27 m.s⁻¹, podemos inferir que os 8,33 m.s⁻¹ estabelecidos como intensidade máxima no presente estudo, estarão próximos daquilo que, no momento de preparação em que foram efetuadas as avaliações (período específico de preparação), seria a sua intensidade máxima de corrida (velocidade máxima).

Comparando com os dados disponíveis na literatura, podemos classificar o presente modelo (atleta) como sendo velocista de nível médio (R. Mann & Murphy, 2015). A título comparativo, podemos referir que o melhor velocista da atualidade, Usain Bolt, atingiu na prova em que estabeleceu o atual record do mundo, velocidades máximas de $12,34 \text{ m.s}^{-1}$ (Krzysztof & Mero, 2013), enquanto que os restantes finalistas da mesma prova (campeonato do mundo de Berlim 2009), obtiveram velocidades máximas de $11,80 \text{ m.s}^{-1}$. Relativamente à variante feminina, as melhores atletas da atualidade atingem velocidades máximas entre os $10,26$ e os $10,75 \text{ m.s}^{-1}$ (Graubner & Nixdorf, 2011).

4.3. Frequência e amplitude de passo

Ao longo da prova (p.e. corrida de 100m), as alterações da velocidade dependem do comportamento do passo, da sua amplitude e duração (frequência). O aumento da velocidade horizontal na corrida pode acontecer devido a um aumento da amplitude de passo, a um aumento da frequência de passo, ou a um aumento de ambos. No presente estudo, o aumento da velocidade de corrida (intensidade) aconteceu devido ao aumento de ambas as variáveis. Na tabela 7 é apresentada a evolução de ambas (frequência e amplitude de passo) à medida que a intensidade de corrida (velocidade) foi sendo incrementada.

Tabela 7. Frequência e amplitude de passo, correspondente às intensidades de corrida submáximas, máxima e supramáxima, São apresentados os valores médios \pm SD, de 4 passos (2 ciclos de passada).

	Intensidade Submáxima (m.s^{-1})				Intensidade Máxima (m.s^{-1})	Intensidade Supramáxima (m.s^{-1})
	6,11	6,67	7,22	7,78	8,33	8,89
Frequência de passo (Hz)	$3,50 \pm 0,08$	$3,73 \pm 0,04$	$3,91 \pm 0,04$	$4,03 \pm 0,05$	$4,25 \pm 0,03$	$4,38 \pm 0,02$
Amplitude de passo (m)	$1,75 \pm 0,08$	$1,79 \pm 0,04$	$1,85 \pm 0,04$	$1,93 \pm 0,06$	$1,97 \pm 0,01$	$2,04 \pm 0,04$

Como se pode verificar na tabela 7, o incremento da velocidade de corrida, desde as intensidades submáximas até à intensidade supramáxima, é acompanhado pelo aumento da amplitude e da frequência de passo. Estes resultados estão de acordo com os disponíveis na literatura, que referem frequências de passo acima de 4,6 Hz para os atletas mais rápidos e entre 4,0 e 4,2 Hz para os mais lentos (Garcia Manso, 1998). Relativamente à velocidade de corrida em que ocorrem tais frequências, Frishberg (1983) refere para velocidades horizontais médias de $9,21 \pm 0,11 \text{ m.s}^{-1}$, frequências de passo $3,93 \pm 0,05 \text{ Hz}$. Comparativamente a este estudo, os resultados obtidos pela atleta da nossa amostra revelam maior frequência de passo (4,377 Hz versus 3,93 Hz) a menor velocidade de deslocamento ($8,89 \text{ m.s}^{-1}$ versus $9,21 \text{ m.s}^{-1}$). Como a frequência de passo é fortemente determinada por características genéticas e antropométricas (Mero et al., 1992), este resultado pode ser justificado por diferentes composições musculares (quantidade de fibras rápidas) e/ou dimensões corporais entre as amostras de ambos os estudos. Quanto à composição muscular será sempre especulativo discutir resultados, porque nenhum dos estudos a determinou. No entanto, à partida, a atleta do presente estudo poderá ter beneficiado da sua menor estatura (168 cm) comparativamente à média do estudo de Frishberg (1983) (homens, estatura: $177 \pm 4 \text{ cm}$), já que quanto menor o comprimento dos membros inferiores, maior probabilidade de se atingirem frequências de passo elevadas. Quando comparada com dados das melhores velocistas femininas da última década (Graubner & Nixdorf, 2011), a atleta revela frequências de passo (4,377 Hz) um pouco abaixo das alcançadas pelas melhores velocistas mundiais, que atingem na fase de velocidade máxima, frequências de passo entre os 4,7 e os 4,8 Hz (Graubner & Nixdorf, 2011).

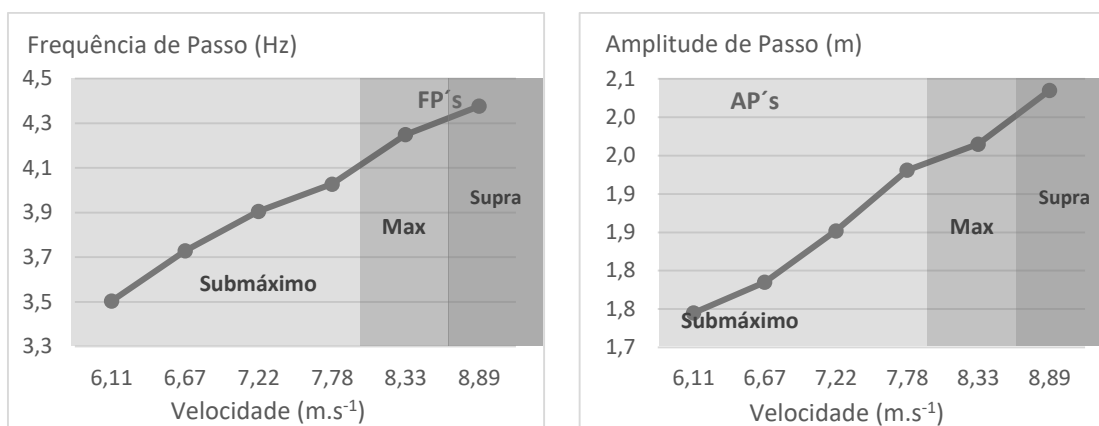


Figura 15. Frequência e Amplitude de Passo, correspondentes às corridas de intensidade submáxima, máxima e supramáxima.

Relativamente à amplitude de passo, os melhores atletas do mundo masculinos (100 metros) apresentam amplitudes médias durante a prova de $2,19 \pm 0,11$ a $2,25 \pm 0,10$ m (Usain Bolt: 2,47m, aquando do recorde do mundo, em 2009) (Krzysztof & Mero, 2013). Relativamente às senhoras, em fase de velocidade máxima podem ser atingidas amplitudes de passo de 2,28 m (Graubner & Nixdorf, 2011). A atleta do nosso estudo evidencia aqui resultados bastante abaixo destas referências, já que em velocidade máxima, registou uma amplitude de passo de 1,965m, obtendo apenas 2,035 m, quando a intensidade de corrida passou para supramáxima. Como a amplitude de passo depende da capacidade de o atleta aplicar força durante o apoio, além da sua estatura e/ou da amplitude do seu membro inferior, será aqui que a atleta poderá investir como objetivo de treino – desenvolver os seus níveis de força rápida que lhe permitam melhorar a qualidade do apoio, sobretudo na sua subfase de impulsão, pois parece ser este o fator mais determinante para o aumento da velocidade de corrida (Mero & Komi, 1987). Curiosamente, a atleta do nosso estudo, evidencia uma assimetria de amplitude de passo entre membros, o que faz suspeitar de um possível défice de força do membro esquerdo que importa avaliar e controlar, de modo a tornar a corrida mais eficiente, com menor risco de lesão e de desequilíbrios funcionais para ela própria. Estas assimetrias estão evidenciadas no gráfico da figura 16.

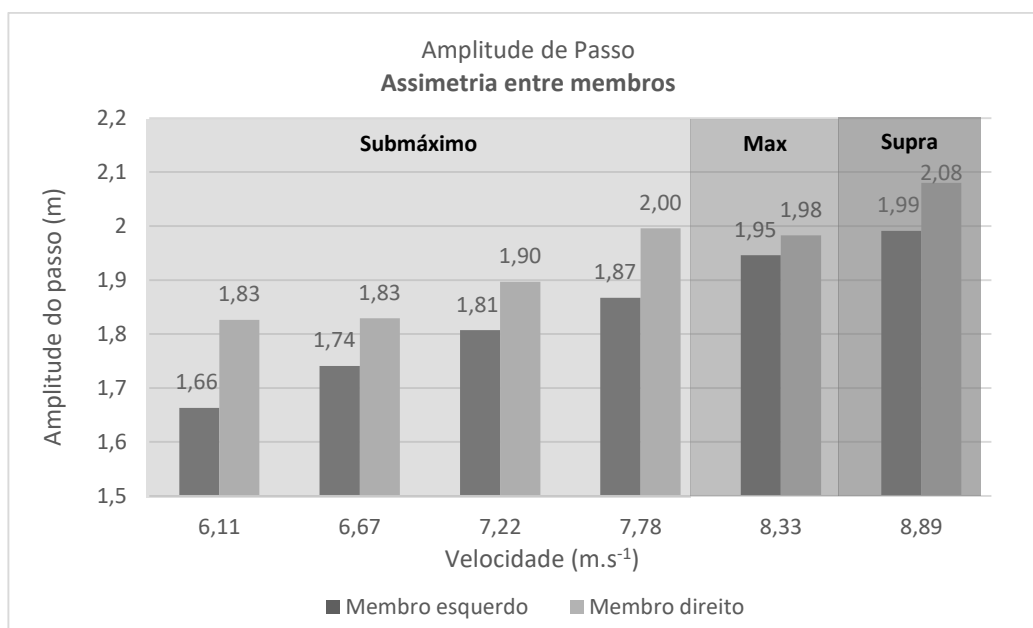


Figura 16. Assimetria entre membros inferiores (direito vs. esquerdo) na Amplitude de Passo, nas diferentes intensidades de corrida. São apresentados os valores médios de 2 passos por membro.

4.4. Tempo de apoio versus tempo de suspensão

A frequência de passo, identificada na literatura como um fator de rendimento importante, é fortemente determinada pela duração do ciclo de passo, que se subdivide na fase de apoio e fase de suspensão (ou voo). São reportadas na literatura correlações elevadas entre a frequência de passo e o tempo de apoio (Plamondon & Roy, 1984), sendo claro que este último é um fator diferenciador de velocistas de diferentes níveis competitivos. No que se refere ao tempo de suspensão, a literatura reporta valores muito homogêneos entre velocistas de diferentes níveis competitivos, classificando-o como fator não diferenciador de atletas de elite (R. Mann & Murphy, 2015). Na tabela 8 e figura 17 estão apresentados os resultados obtidos pela atleta do nosso estudo nestas variáveis (tempo de apoio e tempo de suspensão, em função do aumento da intensidade de corrida).

Tabela 8. Tempo de apoio e tempo de suspensão correspondentes às intensidades de corrida submáximas, máxima e supramáxima. São apresentados os valores médios \pm SD, de 4 passos (2 ciclos de passada).

	Intensidade Submáxima (m.s ⁻¹)				Intensidade Máxima (m.s ⁻¹)	Intensidade Supramáxima (m.s ⁻¹)
	6,11	6,67	7,22	7,78	8,33	8,89
Tempo de apoio (ms)	151 \pm 2,5	128 \pm 0	125 \pm 0	118 \pm 0,5	114 \pm 6	111 \pm 4,5
Tempo de suspensão (ms)	135 \pm 3,5	140 \pm 1,5	131 \pm 1	130 \pm 2	121 \pm 5,5	117 \pm 7

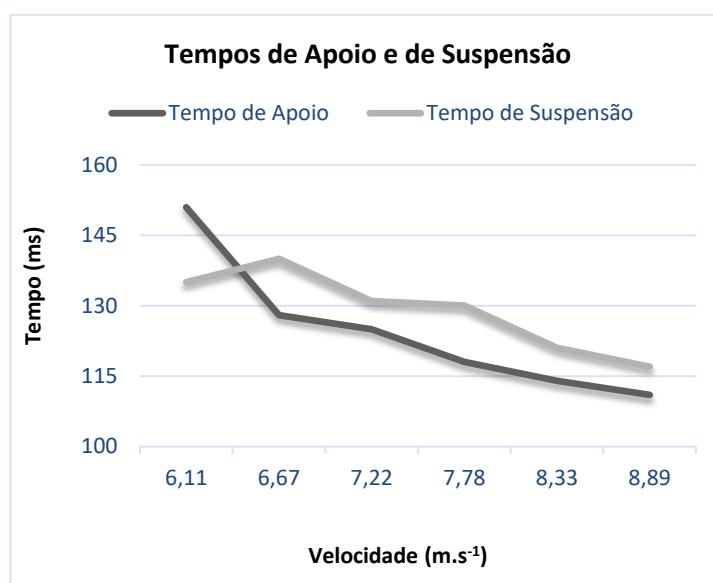


Figura 17. Tempo de apoio e Tempo de suspensão, em relação às intensidades submáximas, máxima e supramáxima

Os dados obtidos permitem observar uma diminuição dos tempos de apoio e de suspensão à medida que a velocidade horizontal do CG aumenta, concorrendo ambos para o incremento da frequência de passo, reportado na tabela 7 e figura 15. No entanto, estes resultados não são totalmente consensuais com o reportado na literatura. Normalmente, o tempo de suspensão apresenta uma relação diretamente proporcional com a velocidade horizontal do CG (Brughelli et al., 2011), embora existam referências que reportam o contrário (Luhtanen & Komi, 1978). Segundo estes últimos autores o aumento da frequência de passo é acompanhado por uma diminuição do tempo de apoio e do tempo de suspensão.

A duração da fase de suspensão (em conjunto com o comprimento dos membros inferiores e velocidade horizontal do CG), constitui-se como uma das variáveis que determina a distância percorrida durante o passo (amplitude de passo). Uma vez que o velocista não tem controlo sobre o comprimento dos membros inferiores e que a velocidade horizontal é consequência da capacidade atlética, o tempo de suspensão é a única variável determinante da amplitude de passo que o velocista poderá controlar diretamente. No entanto, ainda que a amplitude de passo possa ser aumentada através do aumento do tempo de suspensão, um aumento do tempo de suspensão tem consequências negativas na frequência de passo (R. Mann & Murphy, 2015). Desta forma, os velocistas procuram otimizar a frequência de passo, sobretudo através da diminuição do tempo de apoio, sendo que o tempo de suspensão não constitui fator importante de rendimento, capaz de diferenciar atletas de diferentes níveis competitivos. Aliás, a literatura refere inclusive o mesmo tempo de suspensão para estudantes universitários inexperientes e velocistas de elite (R. Mann & Murphy, 2015). O que acontece, no entanto, é que para o mesmo tempo de suspensão, velocistas de elite conseguem produzir velocidades e acelerações segmentares mais elevadas e definir uma posição de receção mais proficiente para a qualidade do apoio seguinte. Os resultados obtidos no nosso estudo para o tempo de suspensão (121ms na velocidade máxima) estão de acordo com os reportados na literatura (120 a 140ms) (Bosco & Vittori, 1986; R. Mann & Murphy, 2015; Mero et al., 1992; Wood, 1987).

Como atrás referenciado, é a fase de apoio e o tempo que ela demora, o fator de performance diferenciador de velocistas de diferentes níveis de rendimento. A literatura refere uma relação inversamente proporcional entre a velocidade de corrida e o tempo de apoio (Bosco & Vittori, 1986; Novacheck, 1998). Na fase de velocidade máxima a nossa atleta atingiu um tempo de apoio de 114ms, ligeiramente acima do intervalo reportado para atletas de elite (80-110ms) (Bosco & Vittori, 1986). No entanto, segundo R. Mann and Murphy (2015),

o resultado obtido no nosso estudo para os diferentes níveis de intensidade está muito abaixo dos valores referenciados como bons (83 ms), médios (88ms) ou mesmo fracos (93 ms). Obviamente que estas referências são de corridas em contexto natural de competição (pista de tartan) e por isso, indutoras de algum erro de interpretação, quando comparadas ao contexto do nosso estudo (tapete rolante), mas não deixam de ser um indicador do nível de performance da nossa amostra. A ausência de referências para atletas de elite em tapete rolante, torna difícil uma comparação mais assertiva. No entanto, existem referências para homens ativos com experiência em desportos coletivos e/ou de raquetes (Girard, Brocherie, Morin, & Millet, 2017). Neste último estudo são referidos tempos de apoio de $159 \pm 11\text{ms}$ para velocidades de corrida de $\approx 5,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. De qualquer forma, como atrás já referido (vide item “frequência e amplitude de passo”), a atleta do nosso estudo beneficiaria de estratégias de treino que lhe permitissem desenvolver a qualidade do apoio, particularmente no que se refere a este fator tão determinante do rendimento (tempo de apoio). Também neste parâmetro, a atleta evidencia uma assimetria entre membros, mais evidente em intensidades máximas e supramáxima (figura 18), revelando uma relação entre o tempo de apoio e a amplitude de passo. Quando o apoio é realizado com o pé direito, a amplitude de passo é maior, mas o tempo de apoio também se torna mais prolongado, o que segundo R. Mann and Murphy (2015), concorre para a diminuição da frequência de passo, e portanto, prejudicando o rendimento.

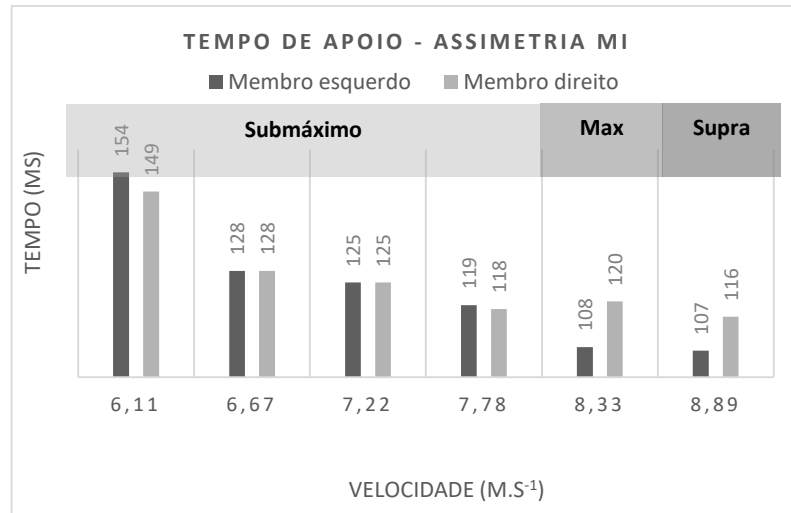


Figura 18. Tempo de apoio, para cada membro inferior (MI), em relação às fases submáximas, máxima e supramáxima.

4.5. Oscilação vertical do CG

A oscilação (variação) vertical do CG, que corresponde à diferença entre as alturas máxima e mínima do CG durante o ciclo de passo, é identificado na literatura como um fator de rendimento importante, revelando uma relação inversa com a velocidade de corrida (Cavagna et al., 1971; Luhtanen & Komi, 1980). Na tabela 9 são apresentados os resultados descritivos obtidos pela nossa amostra nesta variável.

Tabela 9. Oscilação vertical do centro de gravidade, correspondente às intensidades submáximas, máxima e supramáxima. São apresentados os valores médios \pm SD, de 4 passos (2 ciclos de passada).

	Intensidade Submáxima (m.s ⁻¹)				Intensidade Máxima (m.s ⁻¹)	Intensidade Supramáxima (m.s ⁻¹)
	6,11	6,67	7,22	7,78	8,33	8,89
Oscilação vertical CG (m)	0,053 \pm 0,002	0,050 \pm 0,01	0,043 \pm 0,009	0,042 \pm 0,01	0,036 \pm 0,01	0,032 \pm 0,01

Os resultados obtidos evidenciam que quanto maior a velocidade de corrida, menor é a oscilação vertical do centro de gravidade, o que se traduz numa maior eficiência mecânica em intensidades de corrida superiores, reduzindo os movimentos verticais que perturbam a velocidade horizontal de corrida. Num estudo de Mero et al. (1986) são referenciadas

oscilações verticais do CG de 0,047, 0,050 e 0,062m, respetivamente para atletas de elite, atletas de nível médio e de nível reduzido. Os resultados evidenciados pela nossa atleta estão abaixo destes intervalos, podendo ser classificados como sendo característicos de atletas de elevado nível competitivo. Contudo, o facto de terem sido obtidos em contexto de prática diferenciado (tapete rolante), pode dificultar a análise, ser distinto e inviabilizar a comparação. Porque a superfície de contacto (tapete rolante) se encontra em movimento, as reduzidas oscilações evidenciadas podem ser consequência de uma impulsão mais absorvida, reduzido a componente vertical da força produzida.

4.6. Distâncias de receção e impulsão

A velocidade de corrida e, particularmente, a amplitude de passo, são influências pelas distâncias de receção (que se relaciona com a componente de travagem) e de impulsão (que se refere à fase positiva do apoio). Na tabela 10 são apresentados os resultados descritivos obtidos pela nossa amostra nestas variáveis (distâncias de receção e de impulsão).

Tabela 10. Distância média de receção e impulsão correspondente às intensidades submáximas, máxima e supramáxima. São apresentados os valores médios \pm SD, de 4 passos (2 ciclos de passada).

	Intensidade Submáxima (m.s ⁻¹)				Intensidade Máxima (m.s ⁻¹)	Intensidade Supramáxima (m.s ⁻¹)
	6,11	6,67	7,22	7,78	8,33	8,89
Distância de receção (m)	0,423 \pm 0,03	0,353 \pm 0,02	0,348 \pm 0,03	0,396 \pm 0,03	0,384 \pm 0,003	0,391 \pm 0,01
Distância de impulsão (m)	0,674 \pm 0,004	0,655 \pm 0,001	0,724 \pm 0,01	0,784 \pm 0,008	0,831 \pm 0,03	0,838 \pm 0,03

Os resultados apresentados indicam que a atleta do nosso estudo possui uma distância de receção, acima dos referenciados na literatura. Na fase de intensidade máxima (velocidade máxima), a nossa atleta obteve um valor médio de 0,408m enquanto que a literatura refere para atletas femininas valores médios de 0,340m (R. Mann & Murphy, 2015). Também R. Mann

(1985) refere que a distância de receção varia com o nível competitivo dos velocistas, tendo encontrado valores de 0,180, 0,220 e 0,270 metros respetivamente para velocistas de nível elevado, médio e razoável. No estudo de Kunz and Kaufmann (1981), os atletas mais rápidos apresentaram uma distância de receção inferior, sendo, por isso, recomendado que os velocistas iniciem o contacto sob a projeção vertical do CG. Os resultados obtidos no nosso estudo revelam uma maior componente de travagem durante o apoio, reforçando as indicações anteriores de que a qualidade do apoio será um aspeto técnico a valorizar e a desenvolver no futuro.

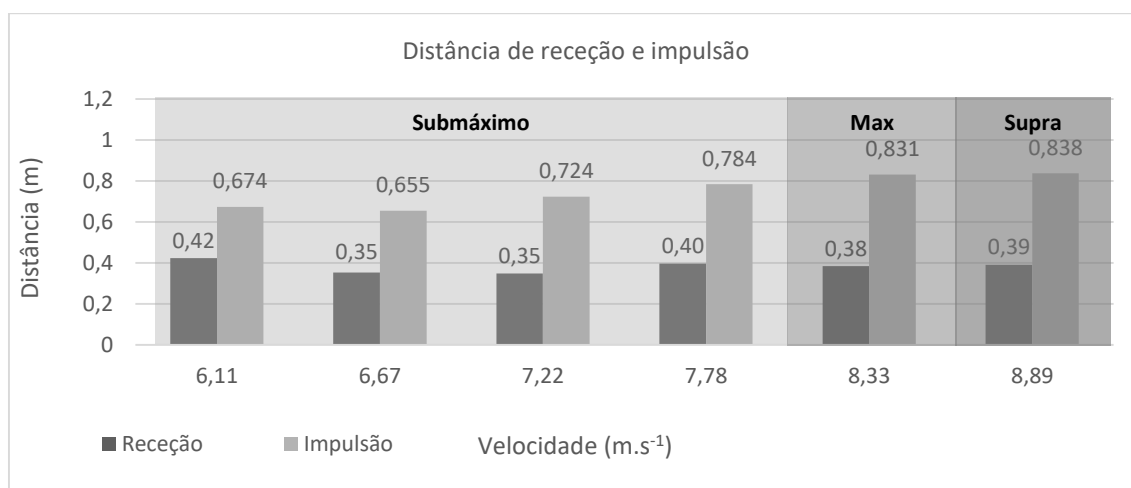


Figura 19. Distância média de receção e impulsão, correspondente às fases submáxima, máxima e supramáxima.

4.7. Ângulos de receção e de impulsão

À semelhança das variáveis anteriores, também os ângulos de receção e impulsão (ângulos formados entre o segmento CG-pé e a horizontal nos instantes de contacto e impulsão, respetivamente), são importantes indicadores da qualidade do apoio e da velocidade de corrida. A tabela 11 apresenta os resultados obtidos nestas variáveis.

Tabela 11. Ângulos de receção e impulsão, correspondente às intensidades submáximas, máxima e supramáxima. São apresentados os valores médios \pm SD, de 4 passos (2 ciclos de passada).

	Intensidade Submáxima (m.s ⁻¹)				Intensidade Máxima (m.s ⁻¹)	Intensidade Supramáxima (m.s ⁻¹)
	6,11	6,67	7,22	7,78	8,33	8,89
Ângulo de Receção (graus)	112,7 \pm 0,4	110,9 \pm 0,1	112,2 \pm 0,2	113,5 \pm 0,3	113,1 \pm 0,7	113,5 \pm 0,4
Ângulo de Impulsão (graus)	58,8 \pm 0,3	60,9 \pm 0,1	59,6 \pm 0,09	60,1 \pm 0,4	57,2 \pm 1,6	54,9 \pm 2,2

A literatura refere para o ângulo de receção variações entre os 71,5° e 75,8° para atletas mais rápidos e os 66° e 77° para atletas menos rápidos (Mero & Komi, 1985; Proença, 1991), ou entre 102,58° na fase de aceleração, 99,93° na fase de velocidade máxima e 104,90° na fase de desaceleração (Cunha et al., 2002). A atleta da nossa amostra apresentou 113,1° e 113,5° nas intensidades máxima e supramáxima, respetivamente, evidenciando valores muito acima dos referenciados na literatura como característicos de atletas de elite. Esta condição promove uma fase de travagem mais acentuada durante o apoio, uma vez que ângulos de receção mais elevados conduzem a forças horizontais negativas superiores, acentuando assim a fase de travagem.

Relativamente ao ângulo de impulsão, é possível encontrar referências de 61,30°, 61,76° e 62,92° respetivamente para as fases de aceleração, velocidade máxima e desaceleração (Cunha et al., 2002). No presente estudo foram registados, para as intensidades máximas e supramáximas, ângulos de impulsão de \approx 57,2° e 54,9°, valores inferiores ao reportado na literatura. Também neste aspeto, a nossa amostra se encontra abaixo da média reportada, evidenciando, por isso uma fragilidade que, sendo bem colmatada, poderá conduzir a benefícios na qualidade do apoio e, conseqüentemente, a uma progressão na qualidade da corrida.

4.8. Ângulos articulares durante o apoio

Como referido anteriormente, a qualidade do apoio depende daquilo que os velocistas conseguem alcançar durante a fase de suspensão. Foi referido que para o mesmo tempo de suspensão, velocistas de elite conseguem produzir velocidades e acelerações segmentares mais elevadas e definir uma posição de receção mais proficiente para a qualidade do apoio que se segue. Deste modo, a tabela 12 apresenta um resumo das posições angulares da coxofemoral, joelho e tornozelo nos instantes de receção (início do apoio) e impulsão (final do apoio) e nos gráficos das figuras 20, 21 e 22, encontram-se representados os deslocamentos angulares das três articulações do membro inferior, durante o apoio.

Tabela 12. Ângulo da Coxofemoral, Joelho e Tornozelo no início e final (*take-off*) do contacto, correspondente às intensidades de corrida submáxima, máxima e supramáxima. São apresentados os valores médios \pm SD, de 4 passos (2 ciclos de passada).

	Intensidade Submáxima (m.s ⁻¹)				Intensidade Máxima (m.s ⁻¹)	Intensidade Supramáxima (m.s ⁻¹)
	6,11	6,67	7,22	7,78	8,33	8,89
Instante de Receção						
Coxofemoral (°)	139,7 \pm 2,1	142,1 \pm 1,8	140,6 \pm 2,9	139,9 \pm 1,5	140,3 \pm 0,6	136,4 \pm 2,3
Joelho (°)	171,1 \pm 0,4	169,3 \pm 0,5	168,6 \pm 1,4	165,4 \pm 2,1	166,4 \pm 1,2	164,7 \pm 0,2
Tornozelo (°)	113,8 \pm 3,9	112,0 \pm 2,3	109,9 \pm 3,01	109,0 \pm 1,2	108,0 \pm 0,9	105,4 \pm 0,7
Instante de Impulsão						
Coxofemoral (°)	173,9 \pm 1,1	175,3 \pm 1,3	175,6 \pm 1,5	175,0 \pm 0,9	176,7 \pm 1,8	176,8 \pm 1,6
Joelho (°)	152,2 \pm 2,4	150,3 \pm 0,3	152,4 \pm 3,9	149,9 \pm 3,5	150,9 \pm 4,4	152,1 \pm 4,2
Tornozelo (°)	123,9 \pm 2,6	123,5 \pm 0,7	123,5 \pm 0,4	119,1 \pm 2,7	125,2 \pm 3,05	125,2 \pm 3,5

Da tabela anterior e pela observação das figuras 20, 21 e 22, é possível identificar uma clara diferença de comportamento angular entre as três articulações do membro inferior de apoio. A coxofemoral apresenta essencialmente um comportamento de extensão, o joelho de flexão, com discreta componente de extensão na fase final do apoio, e o tornozelo essencialmente de extensão, embora durante a fase inicial do apoio permaneça praticamente inalterado. O comportamento da coxofemoral reforça a ideia de que, a velocidades elevadas,

a articulação coxofemoral do membro inferior em apoio não apresenta ação de flexão (R. Mann, 1986). Por sua vez, os registos da articulação do joelho e tornozelo contrariam o que é reportado para a corrida de velocidade em contexto real de prática (tartan ou estrada), nas quais os atletas evidenciam um ciclo muscular de alongamento encurtamento, iniciando o apoio com uma flexão de ambas as articulações, que mantêm até sensivelmente metade do tempo de apoio, e terminando com a extensão completa de ambas (ou muito próximo disso).

4.8.1. Deslocamento Angular da Coxofemoral

Particularmente no que à articulação coxofemoral diz respeito, pode observar-se na tabela 12, que a posição angular da coxofemoral no início do apoio manteve-se relativamente constante nas intensidades submáximas ($140,6 \pm 1,1^\circ$; extensão completa= 180°) e máxima ($140,3^\circ$). Porém, na intensidade supramáxima foi registada uma variação de 4° relativamente às anteriores ($136,4^\circ$). Na literatura da especialidade são reportados valores de 144° e 145° , respetivamente para intensidades corrida máxima e supramáxima (Mero & Komi, 1985). A ligeira diferença encontrada no nosso estudo ($140,3^\circ$ e $136,4^\circ$ versus 144° e 145° no estudo Mero and Komi (1985), respetivamente para as intensidades máxima e supramáxima) pode ter sido decorrente da condição específica de avaliação (tapete rolante). No entanto, o facto de na intensidade supramáxima, a atleta registar maior amplitude angular da coxofemoral ($\Delta=40,4^\circ$; início do contacto: $136,4^\circ$, final do contacto: $176,8^\circ$), pode ser entendido como uma condição benéfica ao desempenho, uma vez que permite a obtenção de velocidades angulares superiores antes e durante o contacto. O gráfico da figura 20 apresenta uma comparação entre as diferentes intensidades de corrida relativamente ao deslocamento angular da coxofemoral do membro inferior de apoio, durante a fase de contacto (membro inferior direito).

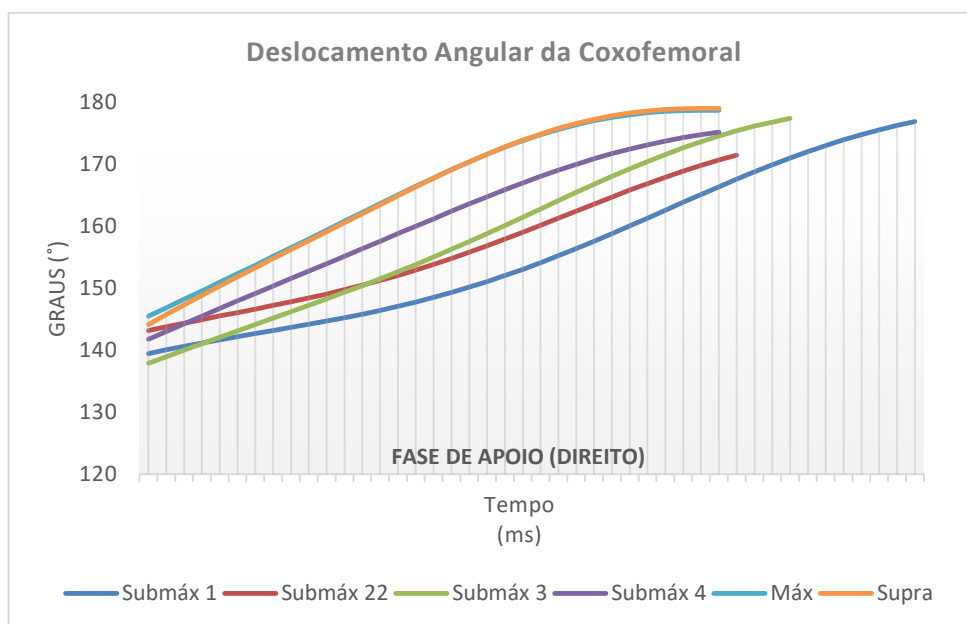


Figura 20. Deslocamento angular da coxofemoral, durante a fase de apoio do membro inferior direito, nas várias intensidades de corrida.

4.8.2. Deslocamento Angular do Joelho

Relativamente ao deslocamento angular do joelho, é possível verificar-se na tabela 12, que a atleta registou posições angulares médias no início do apoio de 166,3° e 164,7°, respetivamente para as intensidades de corrida máxima e supramáxima. A literatura refere, para o instante de receção (início do apoio) posições angulares do joelho de 153° e 154°, respetivamente para as mesmas intensidades de corrida (máxima e supramáxima) (Mero & Komi, 1985). Existe, portanto, uma pequena diferença entre os dados encontrados no nosso estudo e os reportados por Mero and Komi (1985). O facto de, no nosso estudo, terem sido obtidas flexões mais reduzidas do joelho no instante de contacto, pode ser entendido como fator benéfico à performance, mas também é somente uma consequência da própria estrutura de corrida em tapete rolante.

Relativamente ao instante final de contacto, a nossa atleta registou posições angulares do joelho entre os 149,9° e os 152,4° (média±SD: 151,3±1,1°) nas várias intensidades de corrida, sem alteração significativa entre elas. Comparativamente à literatura, onde são

reportados para o instante de *take-off*, posições angulares do joelho entre 150° a 170° para velocistas medianos na fase de velocidade máxima (Blount et al., 1990), a nossa atleta apresenta um comportamento muito díspar. No entanto, a particularidade da corrida em tapete rolante a isso pode conduzir, uma vez que, deslocando-se o tapete no mesmo sentido das forças aplicadas, o solo oferece menos resistência ao apoio impedindo a extensão completa do joelho.

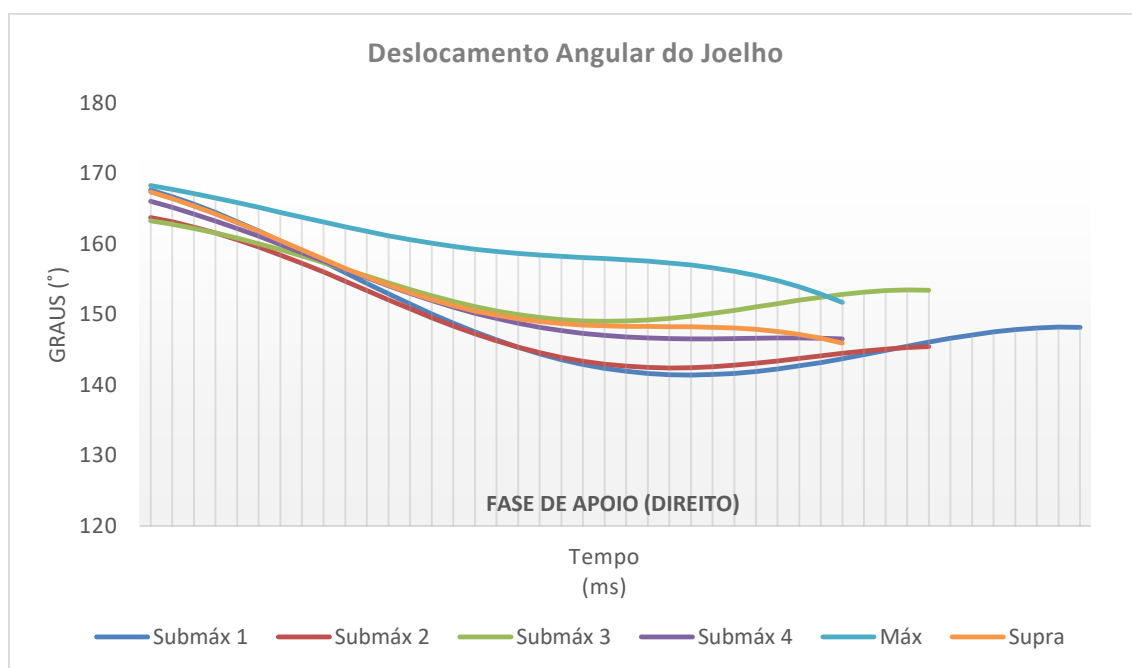


Figura 21. Deslocamento angular do joelho, durante a fase de apoio do membro inferior direito, nas várias intensidades de corrida.

4.8.3. Deslocamento Angular do Tornozelo

Como se pode observar na tabela 12, a atleta registou valores médios no início do apoio de 107,9° e 105,3°, respetivamente para as intensidades de corrida máxima e supramáxima. A literatura refere, para o instante de receção (início do apoio) posições angulares do tornozelo entre 111° (Mero & Komi, 1985) 107° (Hoskisson & Korchemny, 1991) e 106° (Mero et al., 1988) em intensidades de corrida máximas, e 113° para intensidades supramáximas (Mero & Komi, 1985). À medida que a intensidade de corrida aumenta, existe

maior flexão do tornozelo no instante de contacto, o que significa maior preparação do contacto durante a fase de suspensão, através do aumento da dorsiflexão com o objetivo de aumentar a velocidade angular do tornozelo, e consequentemente a velocidade horizontal do pé, fator discriminador do desempenho competitivo.

Um segundo fator de rendimento importante é a reduzida variação angular do tornozelo durante o apoio. No presente estudo, observámos uma tendência para uma menor variação angular do tornozelo, á medida que a velocidade de corrida aumenta (tabela 13), obtendo para as intensidades máxima e supramáxima, variações angulares de 13,1° e de 9,4°, respetivamente. Comparativamente à literatura, podemos considerar este resultado como um fator positivo à performance, já que a menor variação deste ângulo está associada a melhores performances na corrida de velocidade, e pode variar 15° (R. A. Mann et al., 1986) ou entre 34° e 38° (Ozolin, 1986). A reduzida flexão do tornozelo demonstrada pela nossa atleta poderá relacionar-se com adequado ou potenciado *stiffness* articular do tornozelo, aproveitando a energia elástica, sem dissipação de energia (Yakimovich, 1986).

Tabela 13. Ângulo mínimo do Tornozelo (maior flexão) durante a fase de apoio. São apresentados o ângulo de maior flexão e a variação (Δ) angular (componente de flexão) em função do aumento da intensidade de corrida (submáximas, máxima e supramáxima). Reportam-se os valores médios \pm SD de 4 passos (2 ciclos de passada).

	Intensidade Submáxima (m.s ⁻¹)				Intensidade Máxima (m.s ⁻¹)	Intensidade Supramáxima (m.s ⁻¹)
	6,11	6,67	7,22	7,78	8,33	8,89
Ângulo Mínimo						
Tornozelo Direito (°)	88,4 \pm 1,8	92,8 \pm 1,9	94,5 \pm 1,05	96,1 \pm 1,6	98,9 \pm 1,9	95,3 \pm 0,9
Tornozelo Esquerdo (°)	94,1 \pm 2,5	94,9 \pm 1,5	94,9 \pm 1,3	92,7 \pm 2,02	90,9 \pm 1,05	96,7 \pm 1,3
Média (°)	91,2 \pm 2,1	93,8 \pm 1,7	94,7 \pm 1,1	94,4 \pm 1,8	94,9 \pm 1,4	96,0 \pm 1,1
Variação Angular						
Tornozelo Direito (Δ)	21,5 \pm 2,2	16,8 \pm 3,2	12,3 \pm 2,1	11,7 \pm 2,1	10,1 \pm 3,01	9,3 \pm 3,3
Tornozelo Esquerdo (Δ)	23,7 \pm 4,3	19,4 \pm 1,6	18,0 \pm 1,4	17,5 \pm 2,6	16,1 \pm 3,3	9,5 \pm 2,1
Média (Δ)	22,6 \pm 3,2	18,1 \pm 2,4	15,2 \pm 1,7	14,6 \pm 2,3	13,1 \pm 3,1	9,4 \pm 2,7

O gráfico da figura 22 apresenta uma comparação entre as diferentes intensidades de corrida relativamente ao deslocamento angular do tornozelo durante a fase de apoio (membro inferior direito).

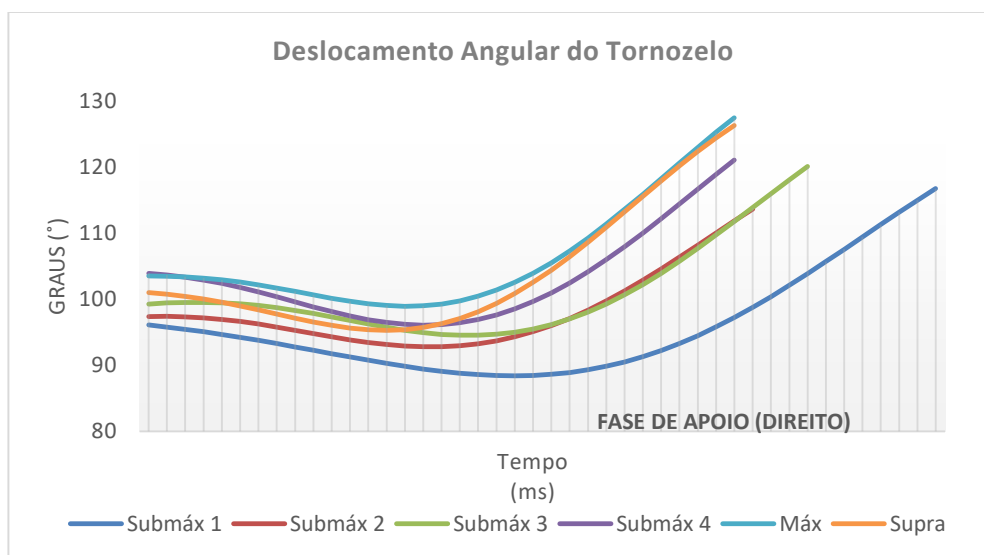


Figura 22. Deslocamento angular do tornozelo, durante a fase de apoio do membro inferior direito, nas várias intensidades de corrida.

4.9. Ângulo mínimo do joelho

Durante o apoio, o joelho do membro de apoio pode ser sujeito a uma carga de flexão que varia entre os 4° e os 10° (Ozolin, 1986), alterando o ângulo articular de 145-160° no início do contacto (receção) (Elliott & Blanksby, 1979a; Hoskisson & Korchemny, 1991; Mero & Komi, 1985; Mero et al., 1988) para 147° sensivelmente a meio da fase de apoio (Stoffels et al., 2007). A literatura refere que esta flexão do joelho se deve à carga de alongamento imposta pelo impacto com o solo, provocando uma desaceleração. Nesta fase, o atleta deve ter como objetivo minimizar tal desaceleração, através de um apoio rápido e ativo, fletindo o joelho o menos possível. Como vimos anteriormente, a condição particular da corrida em tapete rolante, induziu um comportamento angular algo distinto. O joelho do membro de apoio registou uma acentuada componente de flexão, que ocorreu até sensivelmente 70% da fase

de apoio, e apenas uma muito discreta componente de extensão, nos últimos instantes do contacto. A análise comparativa do ângulo mínimo do joelho do membro em apoio, entre as diferentes intensidades de corrida é apresentada na tabela 14.

Tabela 14. Ângulo mínimo do Joelho (maior flexão) durante as fases de apoio e recuperação. São apresentadas as posições angulares de maior flexão do joelho na fase de apoio, e na fase de balanço atrás (recuperação), em função do aumento da intensidade de corrida (submáximas, máxima e supramáxima). Reportam-se os valores médios \pm SD de 4 passos (2 ciclos de passada).

Ângulo Mínimo do Joelho	Intensidade Submáxima (m.s ⁻¹)				Intensidade Máxima (m.s ⁻¹)	Intensidade Supramáxima (m.s ⁻¹)
	6,11	6,67	7,22	7,78	8,33	8,89
Fase de Apoio						
Joelho Direito (°)	144,2 \pm 3,8	149,7 \pm 5,2	144,6 \pm 3,7	143,0 \pm 4,9	143,9 \pm 3,09	144,7 \pm 2,7
Joelho Esquerdo (°)	147,3 \pm 3,4	144,4 \pm 3,4	150,4 \pm 2,7	149,0 \pm 6,4	150,7 \pm 4,7	151,2 \pm 2,8
Média (°)	145,8 \pm 1,5	147,0 \pm 0,6	147,5 \pm 2,3	146,0 \pm 3	147,3 \pm 3,08	148,0 \pm 3,4
Fase de Recuperação						
Joelho Direito (°)	44,2 \pm 3,2	47,4 \pm 4,06	43,5 \pm 3,7	42,1 \pm 3,04	42,8 \pm 3,9	40,8 \pm 3,4
Joelho Esquerdo (°)	51,1 \pm 4,1	54,8 \pm 5,5	50,4 \pm 4,8	49,0 \pm 4,04	46,5 \pm 4,7	44,3 \pm 4,4
Média (°)	47,7 \pm 3,4	51,1 \pm 4,4	47,0 \pm 3,4	45,6 \pm 3,4	44,7 \pm 2,6	42,6 \pm 1,7

A flexão da articulação do joelho da perna livre é também usualmente referenciada como um dos fatores diferenciadores de velocistas de nível competitivo superior. Durante a fase de balanço do membro inferior, a flexão do joelho permite uma diminuição da distância entre o centro de massa do membro inferior e a articulação coxofemoral, reduzindo o momento de inércia do membro inferior e induzindo, consequentemente, um aumento da velocidade angular do membro inferior, com a manutenção ou redução do trabalho muscular (Dyson, 1977). No entanto, Tupa, Gusejnov, et al. (1991) encontraram uma grande variabilidade neste ângulo em velocistas de elite, e R. Mann (1986) não encontrou diferenças estatisticamente significativas entre velocistas de níveis competitivos distintos. Na tabela 14 estão apresentados os resultados obtidos no presente estudo para o maior ângulo de flexão do joelho na fase de recuperação, cujo movimento deve ser curto e pendular. Como se pode observar pelos resultados, a nossa atleta apresenta excessiva flexão do joelho na fase de

recuperação atrás ($44,7^\circ$ e $42,6^\circ$, nas intensidades de corrida máxima e supramáxima, respetivamente), condição que se reflete num ligeiro atraso na recuperação da perna, provocando o aumento desnecessário do tempo da fase de suspensão.

4.10. Distância entre joelhos no instante de receção

Segundo R. Mann and Murphy (2015), não existe melhor indicador de uma mecânica de corrida mais proficiente do que a distância (separação entre) dos joelhos no instante de contacto com o solo. Tanto treinadores como investigadores usam este parâmetro como um indicador visual do quão bem um atleta sincroniza os seus movimentos de modo a projetar o apoio o mais possível sobre o CG, no instante de contacto com o solo. A figura 23 mostra o quão perto o joelho de recuperação deve estar do de apoio, no instante de contacto (R. Mann & Murphy, 2015). A posição ideal será a que minimiza a distância entre ambos os joelhos. Na verdade, alguns dos velocistas mais poderosos realizam, muitas vezes, o contacto com o solo já com joelho de recuperação à frente do de apoio. Caso o atleta não consiga obter, no instante de contacto, uma posição segmentar que aproxime ambos os joelhos, não prejudicará apenas o desempenho desportivo, mas também aumentará drasticamente o risco de lesão muscular. Se o joelho de recuperação estiver muito afastado (atrasado) no momento de contacto com o solo, o atleta irá tentar "recuperar o atraso" aumentando a velocidade segmentar da perna. Este aumento da velocidade segmentar conduz a uma carga mecânica aumentada (maior stress mecânico) ao nível dos isquiotibiais, quando o atleta puxa a perna em direção ao solo, exatamente no instante em que a lesão é mais prevalente.



Figura 23. Distância entre joelho, no instante de receção (Adaptado de R. Mann and Murphy (2015)).

Apesar de valores reportados na literatura não diferirem muito entre homens e senhoras, as senhoras apresentam uma tendência para uma maior dificuldade de manter os joelhos unidos, no instante de contacto. São apontadas na literatura distâncias de 10 cm como bons indicadores de performance para atletas femininas (7 cm para homens) (R. Mann & Murphy, 2015). Na tabela 15 são apresentados os resultados obtidos no presente estudo nesta variável de performance. Como se pode observar, a atleta é muito consistente em todas as intensidades de corrida, e apresenta resultados muito semelhantes aos recomendados para atletas femininas de elite.

Tabela 15. Distância entre joelhos no instante de receção (instante de contacto), correspondente às intensidades de corrida submáximas, máxima e supramáxima. São apresentados os valores médios \pm SD, de 4 passos (2 ciclos de passada).

	Intensidade Submáxima (m.s ⁻¹)				Intensidade Máxima (m.s ⁻¹)	Intensidade Supramáxima (m.s ⁻¹)
	6,11	6,67	7,22	7,78	8,33	8,89
Distância entre joelhos (m)	0,09 \pm 0,002	0,11 \pm 0,008	0,11 \pm 0,007	0,10 \pm 0,01	0,11 \pm 0,01	0,10 \pm 0,01

4.11. Velocidade horizontal do pé no início do apoio

Segundo R. Mann and Murphy (2015), quanto maior for a velocidade horizontal do pé em sentido contrário à do CG, mais rápido e mais económico será o desempenho. Os autores demonstraram que este é um fator discriminador do desempenho competitivo, apresentando como indicadores bons de performance, $7,38 \text{ m.s}^{-1}$ para atletas femininas ($8,47 \text{ m.s}^{-1}$ para homens). A tabela 16 apresenta os resultados obtidos no presente estudo nesta variável de performance.

Tabela 16. Velocidade horizontal do pé no instante de contacto, correspondente às fases submáxima, máxima e supramáxima. São apresentados os valores médios \pm SD, de 4 passos (2 ciclos de passada).

	Intensidade Submáxima (m.s^{-1})				Intensidade Máxima (m.s^{-1})	Intensidade Supramáxima (m.s^{-1})
	6,11	6,67	7,22	7,78	8,33	8,89
Velocidade Horizontal do Pé						
Pé Direito (m.s^{-1})	$4,0 \pm 0,2$	$4,7 \pm 0,4$	$4,9 \pm 0,4$	$5,6 \pm 0,3$	$5,7 \pm 0,1$	$6,2 \pm 0,2$
Pé Esquerdo (m.s^{-1})	$3,9 \pm 0,2$	$5,1 \pm 0,3$	$5,2 \pm 0,2$	$5,4 \pm 0,1$	$5,8 \pm 0,3$	$6,0 \pm 0,4$
Média (m.s^{-1})	$3,9 \pm 0,03$	$4,9 \pm 0,2$	$5,1 \pm 0,1$	$5,5 \pm 0,06$	$5,8 \pm 0,07$	$6,1 \pm 0,08$

Como podemos observar, os resultados obtidos no presente estudo, indicam um incremento da velocidade horizontal do pé à medida que a intensidade de corrida aumenta (figura 24). Este incremento deve-se à necessidade de reduzir a fase de travagem para o consequente aumento da velocidade horizontal do CG. O facto de continuar a aumentar com a imposição de uma intensidade supramáxima ($6,1 \text{ m.s}^{-1}$) pode considerar-se um fator positivo à performance e um aspeto favorável à integração de situações de treino facilitadas (intensidades supramáximas em tapete rolante) no treino dos velocistas. Contudo, os resultados obtidos pela nossa atleta nas intensidades de corrida máxima e supramáxima ($5,8 \text{ m.s}^{-1}$ e $6,1 \text{ m.s}^{-1}$, respetivamente) ficaram aquém do considerado bom para velocistas femininas de elite ($7,38 \text{ m.s}^{-1}$) (R. Mann & Murphy, 2015). Os autores referem, no entanto, que velocistas femininas de nível médio e fraco, atingem velocidades horizontais do pé na ordem dos $6,46 \text{ m.s}^{-1}$ e $5,55 \text{ m.s}^{-1}$, respetivamente. Classificando a nossa atleta neste sistema de

referência (R. Mann & Murphy, 2015), ela estará num nível intermédio entre o fraco e o mediano. Isto significa, portanto, que face á etapa de desenvolvimento onde se encontra, terá ainda uma margem significativa de progressão, podendo beneficiar de situações de treino como as proporcionadas no presente estudo.

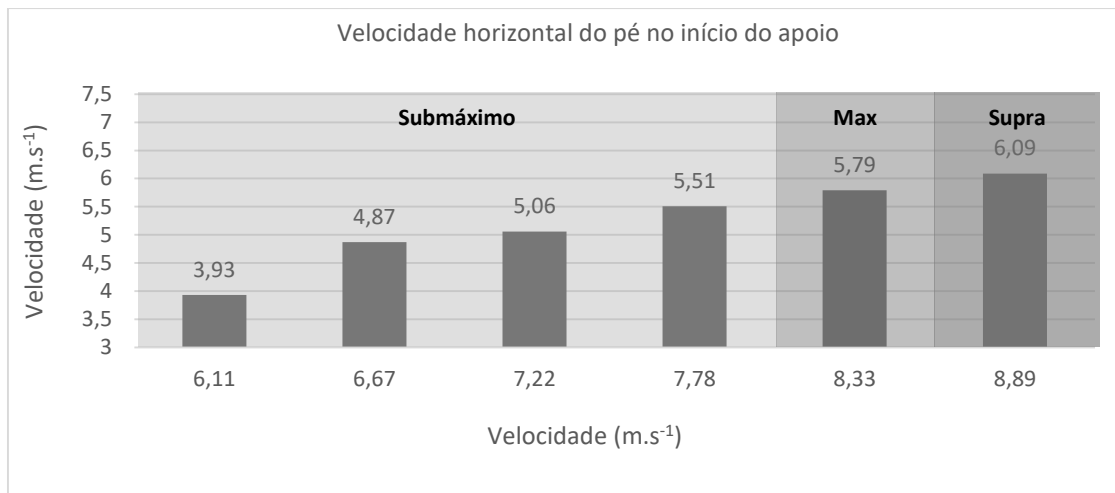


Figura 24. Velocidade horizontal do pé no instante de contacto, correspondente às fases submáximas, máxima e supramáxima. São apresentados os valores médios de vários ciclos de passada.

Capítulo 5: Conclusões

Este capítulo apresenta as conclusões gerais desta investigação, com base nos resultados obtidos.

O presente estudo teve como principal objetivo analisar a estrutura cinemática da corrida de velocidade em passadeira rolante, e determinar vantagens e inconvenientes da utilização de intensidades supramáximas, impostas por meios auxiliares de treino, no desenvolvimento da velocidade máxima. No entanto, as limitações inerentes ao nosso protocolo experimental, relativas especificamente à qualidade e quantidade de atletas recrutados, inviabilizam ilações e conclusões gerais e comuns a toda a comunidade de atletas velocistas. O facto de ter integrado apenas uma atleta feminina em percurso de desenvolvimento desportivo, e, portanto, ainda distante do nível competitivo desejado (alto rendimento), condiciona e limita a interpretação dos resultados face aos objetivos primários do estudo. De qualquer forma, algumas ilações e conclusões são legítimas para a amostra utilizada e, ainda que limitadas, permitem inferir tendências e definir orientações específicas.

Em termos gerais, a integração de intensidades submáximas, máximas e supramáximas no protocolo experimental permitiu-nos identificar algumas das variáveis de desempenho mais importantes. Foi possível comprovar que a velocidade de corrida depende essencialmente de duas variáveis espaço-temporais: a frequência e a amplitude de passo. Os nossos resultados comprovaram que o incremento da velocidade de corrida, desde as intensidades submáximas até à intensidade supramáxima, é acompanhado pelo aumento da amplitude e da frequência de passo. Além disso, permitiram observar uma diminuição dos tempos de apoio e de suspensão à medida que a velocidade horizontal do CG aumenta, concorrendo ambos para o incremento da frequência de passo. Sendo o tempo de apoio o fator de rendimento mais referenciado na literatura, também comprovámos no presente estudo que o mesmo apresenta uma relação inversa com a velocidade de corrida.

A presente investigação permitiu também caracterizar e classificar a respetiva amostra relativamente a referências internacionais de relevo e individualizar estratégias e orientações específicas de treino. Os resultados obtidos revelaram que a nossa amostra atinge frequências

e amplitudes de passo inferiores à média reportada na literatura para atletas femininas de elite, reservando-se nestes parâmetros uma margem importante de progressão. A atleta poderá investir no desenvolvimento dos seus níveis de força rápida, tanto mais que evidencia também uma assimetria entre membros na amplitude de passo, fazendo suspeitar de um possível desequilíbrio muscular que importará controlar e combater. Aliás, outras fragilidades terão sido identificadas que, ao serem suprimidas, poderão contribuir para potenciar a eficiência da corrida e melhorar a qualidade do apoio, fator considerado determinante à performance em corridas de velocidade.

A integração da condição de intensidade supramáxima permitiu combater algumas dessas fragilidades, comprovando assim algumas vantagens deste tipo de intervenção. A este respeito podemos referir que a corrida supramáxima em tapete rolante permitiu diminuir o tempo de apoio e a oscilação vertical do CG, aumentar o tempo de voo, a amplitude de passo e a frequência de passo. É benéfica ainda para a qualidade do apoio, pois melhorou a distância de impulsão, aumentou a velocidade horizontal do pé no instante de contacto e diminuiu a variação angular do tornozelo durante o apoio.

O presente estudo não identificou qualquer desvantagem da utilização de intensidades supramáximas no treino da velocidade, já que não foram detetadas alterações negativas significativas dos padrões mecânicos da corrida. No entanto, importa referir que apenas utilizámos uma intensidade de corrida supramáxima ($\approx 106\%$), pelo que em investigações futuras seria interessante determinar a intensidade ótima de treino supramáximo, definindo a velocidade a partir da qual os padrões de movimento seriam alterados. Seria igualmente interessante comparar velocidades supramáximas no tapete rolante e em pista com outro sistema assistido e perceber se existem diferenças entre o tipo de solo (tapete rolante e tartan) e instrumentos utilizados (tapete rolante e sistema de roldanas ou de reboque assistido).

Referências Bibliográficas

Este capítulo apresenta todas as referências que fundamentaram e suportaram este estudo.

Referências Bibliográficas

- Atwater, A. E. (1973). *Cinematographic analysis of human movement*. (Vol. 1). New York: Academic Press.
- Atwater, A. E. (1982). Kinematic analyses of sprinting. *Track & Field Quarterly Review*, 82(2), 12-16.
- Babic, V., Coh, M., & Dizdar, D. (2011). Differences in kinematic parameters of athletes of different running quality. *Biology of sport*, 28(2), 115-121.
- Bartolini, J. A., Brown, L. E., Coburn, J. W., Judelson, D. A., Spiering, B. A., Aguirre, N. W., . . . Harris, K. B. (2011). Optimal elastic cord assistance for sprinting in collegiate women soccer players. *J Strength Cond Res*, 25(5), 1263-1270. doi:10.1519/JSC.0b013e318215f575
- Bergamini, E., Picerno, P., Pillet, H., Natta, F., Thoreux, P., & Camomilla, V. (2012). Estimation of temporal parameters during sprint running using a trunk-mounted inertial measurement unit. *J Biomech*, 45(6), 1123-1126. doi:10.1016/j.jbiomech.2011.12.020
- Blount, J., Hoskisson, J. L., & Korchemny, R. (1990). Summary of results from TAC junior elite sprint camp. *Track Technique*, 113, 3593-3602.
- Bosco, C., & Vittori, C. (1986). *Biomechanical characteristics of sprint running during maximal and supra-maximal speed*.
- Brown, L. E., & Ferrigno, V. A. (2005). *Training for Speed, Agility, and Quickness: Human Kinetics*.
- Bruggeman, G. P., & Glad, B. (1990). *IAAF Scientific Research Project at the Games of XXIVth Olympiad-Seoul - 1988: Final Report*. Italy: Arti Grafiche Danesi.
- Brughelli, M., Cronin, J., & Chaouachi, A. (2011). Effects of running velocity on running kinetics and kinematics. *J Strength Cond Res*, 25(4), 933-939. doi:10.1519/JSC.0b013e3181c64308
- Bunn, J. (1972). *Scientific principles of coaching*. Englewood Cliffs, NJ.
- Cavagna, G. A., Komarek, L., & Mazzoleni, S. (1971). The mechanics of sprint running. *J Physiol*, 217(3), 709-721.
- Cetin, E., Hindistan, I. E., & Ozkaya, Y. G. (2017). Effect of Different Training Methods on Stride Parameters in Speed Maintenance Phase of 100m Sprint Runningmel. *J Strength Cond Res*. doi:10.1519/JSC.0000000000001977
- Cissik, J. (2004). Means and Methods of Speed Training: Part I. *Strength and Conditioning Journal*, 26(4), 24-29.
- Cissik, J. M. (2005). Means and methods of speed training: Part II. *Strength Cond J*, 27(1), 18-25.
- Clark, D. A., Sabick, M. B., Pfeiffer, R. P., Kuhlman, S. M., Knigge, N. A., & Shea, K. G. (2009). Influence of towing force magnitude on the kinematics of supramaximal sprinting. *J Strength Cond Res*, 23(4), 1162-1168. doi:10.1519/JSC.0b013e318194df84
- Coh, M., & Tomazin, K. (2006). Kinematic analysis of the sprint start and acceleration from the blocks. *New Studies in Athletics - IAAF*, 21(3), 23-33.
- Corn, R. J., & Knudson, D. (2003). Effect of elastic-cord towing on the kinematics of the acceleration phase of sprinting. *J Strength Cond Res*, 17(1), 72-75.
- Cunha, L., Alves, F., & Veloso, A. (2002). The touch-down and take-off angles in different phases of 100 m sprint run. *Presentation at International Symposium on Biomechanics in Sport, Cáceres-Extremadura, Spain*.
- Delecluse, C. (1995). Analysis of 100 meter sprint performance as a multi-dimensional skill. *Journal of human movement studies*, 28(2), 87.
- Derse, E., Hansen, J., O'Rourke, T., & Stolley, S. (Eds.). (1995-2012). *Track and Field Coaching Manual*. Los Angeles, CA.
- Deshon, D., & Nelson, R. C. (1964). A cinematographical analysis of sprint running. *Research Quartely*, 35, 451-455.
- Dillman, C. J. (1975). *Kinematic analysis of running* (Vol. 3). New York: Academic Press.

- Dintiman, G., & Ward, B. (2003). *Sports Speed*: Human Kinetics Europe Ltd.
- Dugan, A., & Bhat, P. (2005). Biomechanics and analysis of running gait. *Phys Med Rehabil Clin N Am*, 16, 603-621.
- Duncanson, N. (2011). *The Fastest Men on Earth: The Story of the Men's 100 Metre Champions*. London: Andre Deutsch
- Dyson, G. (1977). *The mechanics of athletics*. New York: Holmes & Meier.
- Ebben, W. P., Davies, J. A., & Clewien, R. W. (2008). Effect of the degree of hill slope on acute downhill running velocity and acceleration. *J Strength Cond Res*, 22(3), 898-902. doi:10.1519/JSC.0b013e31816a4149
- Elliott, B. C., & Blanksby, B. A. (1979a). Optimal stride length considerations for male and female recreational runners. *British Journal of Sports Medicine*, 13, 15-18.
- Elliott, B. C., & Blanksby, B. A. (1979b). Optimal stride length considerations for male and female recreational runners. *Br J Sports Med*, 13(1), 15-18.
- Eriksen, H. K., Kristiansen, J. R., Lagrangen, Ø., & Wehus, I. K. (2009). How fast could Usain Bolt have run? A dynamical study. *American Journal of Physics*(77), 224-228.
- Faccioni, A. (1994b). Assisted and resisted methods for speed development (Part II). *Modern athlete and coach*, 32(3), 8-11.
- Fenn, W. O. (1930). Work against gravity and work due to velocity changes in running. *American journal of Physiology*, 90, 343-344.
- Frishberg, B. A. (1983). An analysis of overground and treadmill sprinting. *Med Sci Sports Exerc*, 15(6), 478-485.
- Garcia Manso, J. M. (1998). *La Velocidad: la mejora del rendimiento en los deportes de velocidad*: Colección Entrenamiento deportivo. Gymnos.
- Girard, O., Brocherie, F., Morin, J. B., & Millet, G. P. (2017). Lower limb mechanical asymmetry during repeated treadmill sprints. *Hum Mov Sci*, 52, 203-214. doi:10.1016/j.humov.2017.02.008
- Graubner, R., & Nixdorf, E. (2011). Biomechanical Analysis of the Sprint and Hurdles Events at the 2009 IAAF World Championships in Athletics. *New Studies in Athletics. IAAF Org*, 1(2), 19-53.
- Gray, S. (1975). Predisposing factors in thigh muscle strain in sport. *20th World Congress in Sports Medicine Congress Proceedings, Melliourne*, 325-333.
- Haugen, T., Danielsen, J., Alnes, L. O., McGhie, D., Sandbakk, O., & Ettema, G. (2017). On the Importance of "Front-Side Mechanics" in Athletics Sprinting. *Int J Sports Physiol Perform*, 1-24. doi:10.1123/ijsp.2016-0812
- Hay, J. G. (1993). *The biomechanics of sports techniques* (4th Edition ed.): Benjamin Cummings, N.J.: Prentice-Hall.
- Helmick, K. (2003). Biomechanical analysis of sprint start positioning. *Track Coach*, 163, 5209-5214.
- Hohmann, A., Lames, M., & Letzeier, M. (2005). *introducción a la ciencia del entrenamiento* (paidotribo ed.). Badalona: paidotribo.
- Hollmann, W., & Hettinger, T. (1980). *Sportmedizin - Arbeits - und Trainings - grundlagen* (2ª ed ed.). Stuttgart - Nueva York: Schattauer.
- Hoskisson, J. L., & Korchemny, R. (1991). TAC junior sprint project stride evaluation. *Track Technique*, 116, 3691-3699.
- Ito, A., Komi, P. V., Sjodin, B., Bosco, C., & Karlsson, J. (1983). Mechanical efficiency of positive work in running at different speeds. *Med Sci Sports Exerc*, 15(4), 299-308.
- Ito, A., Sagawa, K., Kato, K., Ae, M., & Kobayashi, K. (1993). *Leg movement analysis of gold and silver medallists in men's 100 m at the III world championships in athletics* (Vol. 1). Paris.
- Kepple, T. (1989). Validation of a video-based, six degree-of-freedom mechanical analysis procedure for application to human movement. *Unpublished Master's Thesis. University of Maryland. Maryland*.

- Kepple, T., & Stanhope, S. (2000). Move3D Software. In J. M. Winters & P. E. Crago (Eds.), *Biomechanics and neural control of posture and movement* (pp. 683). New York: Springer.
- Klinzing, J. (1981). Sprint training: Improving sprint speed for all athletes. *National Strength & Conditioning Association Journal*, 6(4), 32-33.
- Krzysztof, M., & Mero, A. (2013). A kinematics analysis of three best 100 m performances ever. *J Hum Kinet*, 36, 149-160. doi:10.2478/hukin-2013-0015
- Kunz, H., & Kaufmann, D. A. (1981). Biomechanical analysis of sprinting: decathletes versus champions. *British Journal of Sports Medicine*, 15, 177-181.
- Lehnertz, K., Carl, K., & Martin, D. (2016). *Manual de metodoloíia del entrenamiento deportivo*: Editorial Paidotribo.
- Lentz, D., & Dawes, J. (2015). Speed training. In L. Brown & V. Ferrigno (Eds.), *Training for speed, agility, & quickness, Third edition* (Third Edition ed., pp. 26-82): Human Kinetics.
- Lizaur, Martín, & Padial. (1989). La formación y desarrollo de las cualidades físicas. In Unisport (Ed.), *Entrenamiento deportivo en la edad escolar*. Malaga.
- Lovell, D. I., Mason, D. G., Delphinus, E. M., & McLellan, C. P. (2011). Do compression garments enhance the active recovery process after high-intensity running? *J Strength Cond Res*, 25(12), 3264-3268. doi:10.1519/JSC.0b013e31821764f8
- Lu, T. W., & O'Connor, J. J. (1999). Bone position estimation from skin marker co-ordinates using global optimisation with joint constraints. *J Biomech*, 32(2), 129-134.
- Luhtanen, P., & Komi, P. (1978). *Mechanical factors influencing running speed*. Baltimore: University Park Press.
- Luhtanen, P., & Komi, P. V. (1980). Force-, power-, and elasticity-velocity relationships in walking, running, and jumping. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 44(3), 279-289.
- Majdell, R., & Alexander, M. J. L. (1991). The effect of overspeed training on kinematic variables in sprinting. *Journal of human movement studies*, 21, 19-39.
- Mann, R. (1985). Biomechanical Analysis of elite sprinters and hurdler. *The elite athlete*, 43-80.
- Mann, R. (1986). The biomechanical analysis of sprinting. *Track Technique*, 94, 3000-3003.
- Mann, R. (2011). A kinetic analysis of sprinting. *Med Sci Sports Exerc*, 13(5), 325.
- Mann, R., & Murphy, A. (2015). *The mechanics of sprinting and hurdling*: CreateSpace Independent Publishing Platform; 2015 edition.
- Mann, R. A., Moran, G. T., & Dougherty, S. E. (1986). Comparative electromyography of the lower extremity in jogging, running and sprinting. *American Orthopedic Society of Sports Medicine*, 14(6), 501-510.
- Mann, R. V., & Herman, J. (1985). Kinematic analysis of Olympic sprint performance: Men's 200 meters. *Journal of the International Society of Biomechanics*, 1, 151-162.
- Maynard, V., Bakheit, A. M., Oldham, J., & Freeman, J. (2003). Intra-rater and inter-rater reliability of gait measurements with CODA mpx30 motion analysis system. *Gait Posture*, 17(1), 59-67.
- Mero, A. (1988). Force-Time Characteristics and Running Velocity of Male Sprinters during the Acceleration Phase of Sprinting. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 59(2), 94-98.
- Mero, A., & Komi, P. V. (1985). Effects of supramaximal velocity on biomechanical variables in sprinting. *Int J Sport Biomech*, 1, 240-252.
- Mero, A., & Komi, P. V. (1986). Force-, EMG-, and elasticity-velocity relationships at submaximal, maximal and supramaximal running speeds in sprinters. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 55(5), 553. doi:10.1007/BF00421652
- Mero, A., & Komi, P. V. (1987). Effects of stimulated supramaximal sprinting on force production, neural activation and blood lactate. *XI International Congress of Biomechanics, Amsterdam*.

- Mero, A., & Komi, P. V. (1990). Reaction time and electromyographic activity during a sprint start. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 61(1), 73-80. doi:10.1007/BF00236697
- Mero, A., Komi, P. V., & Gregor, R. J. (1992). Biomechanics of sprint running. *Sports Medicine*, 13(6), 376-392. doi:10.2165/00007256-199213060-00002
- Mero, A., Komi, P. V., Rusko, H., & J., H. (1987). Neuromuscular and anaerobic performance of sprinters at maximal and supra- maximal speed. *Int J Sports Med*, 8, 55-60.
- Mero, A., Luhtanen, P., & Komi, P. (1986). Segmental contribution to velocity of center of gravity during contact at different speeds in male and female sprinters. *Journal of human movement studies*, 12, 215-235.
- Mero, A., Luhtanen, P., Komi, P., & Susanka, P. (1988). Kinematics of top sprint (400m) running in fatigue conditions. *Track and Field Quartely Review*, 88, 42-45.
- Moir, G. L. (2015). Biomechanics of Fundamental Movements: Sprint Running *Strength And Conditioning: A Biomechanical Approach* (First ed., pp. 523-574): Jones & Bartlett Learning.
- Moravec, P., Ruzicka, J., Susanka, P., Dostal, E., Kodejs, M., & Nosek, M. (1988). The 1987 International Athletic Foundation/IAAF Scientific Project Report: Time analysis of the 100 meter events at the II World Championships in Athletic. *New Studies in Athletics*, 3(3), 61-96.
- Mouchbahani, R. A., Gollhofer, R. A., & Dickhuth, H. (2004). Pulley systems in sprint training. *Modern athlete and coach*, 42(3), 14-17.
- Novacheck, T. F. (1998). The biomechanics of running. *Gait Posture*, 7(1), 77-95.
- Nummela, A., Keranen, T., & Mikkelsen, L. O. (2007). Factors related to top running speed and economy. *Int J Sports Med*, 28(8), 655-661. doi:10.1055/s-2007-964896
- Ozolin, E. S. (1986). *The sprint*. Moscow.
- Pilianidis, T., Kasabalis, A., Mantzouranis, N., & Mavvidis, A. (2012). Start reaction time and performance at the spring events in the olympic games. *Democritus University of Thrace, Department of Physical Education & Sport Science, Komotini, Greece*, 44(1), 67-72. doi:794.422.12:796.032.2
- Plamondon, A., & Roy, B. (1984). Cinématique et cinétique de la course accélérée. *Canadian Journal of Applied Sport Sciences*, 9(1), 42-52.
- Plisk, S. (2000). *Speed, agility, and speed endurance development* (2nd ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Proença, J. (1991). *Una concepción metodológica en el entrenamiento de los saltos: unidad-totalidad-libertad*.
- Quercetani, R., & Pallicca, G. (2007). *World History of Sprint Racing "The stellar events": 100m, 200m and 4x100m relay - Men and Women (1850-2005)*. Milan: Sep Editrice
- Rumpf, M. C., Lockie, R. G., Cronin, J. B., & Jalilvand, F. (2016). Effect of Different Sprint Training Methods on Sprint Performance Over Various Distances: A Brief Review. *J Strength Cond Res*, 30(6), 1767-1785. doi:10.1519/JSC.0000000000001245
- Sandwick, C. (1967). Pacing machine. *Athletic Journal*, 47, 36-37.
- Seagrave, L. (1996). Introduction to sprinting. *New Studies in Athletics*, 11(2/3), 93-114.
- Sinning, W., & Forsyth, H. (1970). Lower limb action while running at different velocities. *Medicine & Science in Sport*, 2(1), 28-34.
- Stoffels, F., Kober, R. S., Dal Pupo, J., Junior, I. R., & Mota, C. B. (2007). Análise de variáveis cinemáticas da corrida de jovens velocistas. *Rev Port Cien Desp*, 7(1), 59-67.
- Tipton, K. D., Jeukendrup, A. E., Hespel, P., & International Association of Athletics, F. (2007). Nutrition for the sprinter. *J Sports Sci*, 25 Suppl 1, S5-15. doi:10.1080/02640410701607205
- Trujillo, D., & Busby, H. R. (1997). *Practical Inverse Analysis in Engineering*: Boca Raton: CRC press.

- Tupa, V., Dzhalilov, A., & Shulalov, G. (1991). Sprinting: Visual Evaluation of Technique. *Legkaya Atletika*(9), 70-73.
- Tupa, V., Gusejnov, F., & Mironenko, I. (1991). Fatigue-induced changes in sprinting technique. *Soviet Sport Review*, 185-188.
- Upton, D. E. (2011). The effect of assisted and resisted sprint training on acceleration and velocity in Division IA female soccer athletes. *J Strength Cond Res*, 25(10), 2645-2652. doi:10.1519/JSC.0b013e318201be16
- Vieira, J. (1996). Estudo do factor físico desportivo - Velocidade. In S. d. E. Faculdade de Motricidade Humana (Ed.), *Metodologia do Treino Desportivo* (pp. 353-404). Cruz-Quebrada.
- Vittori, C., & Bosco, C. (1983). How to obtain supramaximal speed with a new electromechanical apparatus. *Research project presented to Italian Olympic Committee. D.R.S.*, 1-4.
- Weineck, J. (2005). *Entrenamiento Total*. Barcelona: Editorial Paidotribo.
- Wiemann, K., & Tidow, G. (1995). Relative activity of hip and knee extensors in sprinting-implications for training. *New Studies in Athletics. International Association of Athletics Federations (IAAF)*, 10, 29.
- Wood, G. (1987). Biomechanical limitations to sprint running. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 25, 58-71.
- Yakimovich, D. (1986). Why does running speed drop? *Sovietic Sport Review*, 21(1), 22-23.
- Yamashita, M. T. (2013). Uma breve análise da física da corrida de 100 metros rasos. *Revista da Biologia. Instituto de Biociências. Universidade de São Paulo*, 11(1), 8-11.